

**VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky**

**Návrh lineárního napájecího zdroje 12 nebo 24V**

**Linear DC power supply 12 or 24V design**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Grygerek**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Návrh lineárního napájecího zdroje 12 nebo 24V.  
Linear DC power supply 12 or 24V design.**

Zásady pro vypracování:

Napájecí zdroje, princip, používaná schémata zapojení, vícekritériální srovnání lineárních a spínaných zdrojů.

Základní ochrany zdroje, omezení nárazového proudu, komplexní jištění, určení spolehlivosti, rozbor možných poruchových stavů.

Dimenzování součástek zdroje, výpočet chlazení.

Návrh zapojení lineárního zdroje 12 a 24V s jedno a třífázovým napájením pro různé velikosti a způsoby zatěžování, ověření funkce a srovnání provozních vlastností.

Shrnutí technických a ekonomických parametrů navržených zdrojů.

Seznam doporučené odborné literatury:

Krejčířík, A.: Napájecí zdroje, (1-3), BEN

Další dle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Bernat, Ph.D.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 6. května 2011

*Lukáš Grygerek*.....

Jméno a příjmení studenta

## **Poděkování**

Zde bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Petrovi Bernatovi Ph.D., za zájem, náměty a čas, který věnoval mně i mé bakalářské práci.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá vysvětlením principů činnosti napájecích zdrojů. Jsou zde popsány a porovnány vlastnosti lineárních a spínaných napájecích zdrojů.

První část se zaměřuje na vysvětlení funkce jednotlivých prvků, jako jsou transformátory, usměrňovače, stabilizátory a filtrační členy.

Druhá část bakalářské práce je zaměřena na ochranu napájecích zdrojů a popis možných poruchových stavů.

Třetí část pojednává o možnostech chlazení napájecích zdrojů a prvků v nich obsažených. Dále jsou zde zmíněny i požadavky na dimenzování součástek a jejich správná volba.

Čtvrtá část je již zaměřena na samotný návrh konkrétních zdrojů se stanovenými parametry. Závěrem je zmíněno srovnání technických a ekonomických parametrů navržených zdrojů.

## **Abstract**

This thesis deals with an explanation of the principles of functioning of supply sources. The properties of linear and contact supply sources are described and compared here.

The first part is aimed at an elucidation of the function of individual elements such as transformers, rectifiers, stabilizers and filter units.

Next section of the bachelor theses deals with a protection of supply sources and characterization of possible fault conditions.

The third part does the possibilities of cooling of supply sources and component units contained in them. Then there are mentioned the requirements for dimensioning of the units and their proper choice.

The fourth part is targeted at a proposal of the particular sources with fixed parameters.

There is a comparison of the technical and economical parameters of the suggested sources in a final part.

## **Klíčová slova**

zdroj, usměrňovač, stabilizátor, lineární zdroj, spínaný zdroj

## **Key Words**

supply, rectifier, stabilizer supply, linear, contact supply

## Seznam použitých symbolů a zkratk

atd.		a tak dále
C	[F]	kapacita kondenzátoru
$C_F$	[F]	kapacita filtračního kondenzátoru
$C_{IN}$	[F]	kapacita vstupního kondenzátoru
$C_N$	[F]	kapacita nabíjecího kondenzátoru
D		označení diody
f	[Hz]	kmitočet
I	[A]	proud
$I_F$	[A]	propustný proud diody
např.		například
obr.		obrázek
p	[%]	zvlnění za usměrňovačem
R	[ $\Omega$ ]	odpor rezistoru
$R_i$	[ $\Omega$ ]	vnitřní odpor
$R_Z$	[ $\Omega$ ]	zatěžovací odpor
S	[VA]	zdánlivý výkon
T	[s]	dobra periody
t	[s]	čas
tab.		tabulka
Ty		tyristor
$U_0$	[V]	střední hodnota vstupního usměrněného napětí
U	[V]	napětí
$U_C$	[V]	napětí na kondenzátoru
$U_D$	[V]	závěrné napětí diody
$U_i$	[V]	vnitřní úbytek napětí
$U_{IN}$	[V]	vstupní napětí
$U_{INV}$	[V]	opačné napětí
$U_{MAX}$	[V]	maximální hodnota napětí
$U_{MIN}$	[V]	minimální hodnota napětí
$U_R$	[V]	napětí na odporu, závěrné napětí diody
$U_{sek}$	[V]	okamžitá hodnota sekundárního napětí
Uš-š	[V]	napětí špička - špička
$U_{vst}$	[V]	vstupní napětí
$U_Z$	[V]	Zenerovo napětí
$U_{ZMAX}$	[V]	maximální hodnota napětí na zátěži
$Z_D$		označení Zenerovy diody
$\alpha$	[°]	fázový úhel
$\pi$	[-]	Ludolfovo číslo
$\omega$	[rad/s]	úhlová rychlost

# Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Elektrické napájecí zdroje .....</b>	<b>2</b>
2.1. Náhradní schéma elektrických zdrojů .....	2
2.1.1. Napěťové zdroje .....	2
2.1.2. Proudové zdroje .....	3
2.2. Síťové napájecí zdroje .....	3
2.2.1. Lineární síťové zdroje .....	4
2.2.2. Spínané síťové zdroje .....	4
2.3. Transformátory .....	5
2.4. Usměrňovače .....	6
2.4.1. Jednocestný usměrňovač .....	6
2.4.2. Dvoucestný usměrňovač .....	8
2.4.3. Můstkový usměrňovač jednofázový .....	9
2.4.4. Můstkový usměrňovač třífázový .....	10
2.4.5. Zdvojovač napětí .....	10
2.4.6. Kaskádní násobič napětí .....	12
2.5. Stabilizátory .....	13
2.5.1. Parametrické stabilizátory .....	13
2.5.1.1. Stabilizátor s diodou .....	13
2.5.1.2. Stabilizátor se Zenerovou diodou .....	14
2.5.2. Lineární třísvorkové stabilizátory napětí řady 78xx a 79xx .....	15
2.5.2.1. Kladné a záporné stabilizátory napětí .....	15
2.5.2.2. Stabilizátory s pevným výstupním napětím .....	16
2.6. Filtrace .....	17
2.6.1. Výpočet filtračního kondenzátoru stabilizovaného zdroje .....	17
<b>3. Ochrany, omezení, jištění, spolehlivost, poruchy napájecích zdrojů .....</b>	<b>19</b>
3.1. Pojistky .....	19
3.2. Ochrana proti přepólování výstupu .....	19
3.3. Přepět'ové ochrany .....	20
<b>4. Dimenzování a chlazení prvků napájecích zdrojů .....</b>	<b>21</b>
4.1. Dimenzování součástek .....	21
4.2. Chlazení součástek v napájecích zdrojích .....	21
4.2.1. Přirozené chlazení .....	21
4.2.2. Nucené chlazení .....	22
4.2.2.1. Čistě nucené chlazení .....	22
4.2.2.2. Smíšené chlazení .....	22
4.2.3. Chladiče .....	22
4.2.3.1. Výpočet chladiče pro jednu součástku, kdy nejsou uplatněny kapacity .....	23
4.2.3.2. Výpočet chladiče pro jednu součástku s uplatněním kapacity chladiče .....	24
4.2.3.3. Konstrukční provedení chladičů .....	25
4.2.4. Ventilátory .....	26
4.2.4.1. Výpočet parametrů ventilátoru .....	26
<b>5. Návrh zdroje .....</b>	<b>27</b>
5.1. Parametry navrhovaných zdrojů .....	27
5.2. Napájecí zdroj .....	27
5.2.1. Transformátory .....	27
5.2.2. Pojistky .....	28
5.2.3. Usměrňovač .....	29
5.2.4. Filtrace .....	29

5.2.5.	Ochrana před účinky statické elektřiny a přepětí .....	29
5.2.6.	Vstupní a výstupní svorky .....	29
5.3.	Silová část .....	30
5.4.	Ovládání .....	31
5.4.1.	Usměrňovač .....	31
5.4.2.	Filtrace .....	31
5.4.3.	Stabilizátor .....	31
5.4.4.	Tepelná ochrana .....	32
5.4.5.	Obvod časového přemostění termistoru .....	32
5.4.6.	Signalizace provozních a poruchových stavů .....	32
5.5.	Seznam použitých součástek .....	33
5.6.	Práce v návrhovém programu desek plošných spojů .....	36
5.6.1.	Schéma zapojení .....	36
5.6.2.	Deska plošného spoje .....	37
5.7.	Cenová kalkulace navrhovaného zdroje .....	37
<b>6.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>41</b>



# 1. Úvod

Mnohé elektrické přístroje a zařízení ke své činnosti vyžadují malé stejnosměrné napětí. Toto napětí je možné získat prostřednictvím vhodné konstrukce napájecího zdroje.

Cílem této bakalářské práce je shrnutí teoretických předpokladů pro návrh napájecího zdroje s následnou aplikací těchto poznatků při samotném návrhu napájecího zdroje se stanovenými parametry.

První část bakalářské práce se zaměřuje na samotnou podstatu činnosti lineárních a spínaných napájecích zdrojů. Seznámíme se s jednotlivými částmi napájecích zdrojů, jako jsou transformátory, usměrňovače, stabilizátory a filtrační členy. Jednotlivé části zdrojů jsou popsány, doplněny schémata zapojení a výpočetními vztahy pro správný návrh těchto dílčích obvodů. V této části si také popíšeme rozdíly mezi lineárními a spínanými zdroji.

Druhá část bakalářské práce pojednává o možnostech ochrany napájecích zdrojů proti nežádoucím poruchám, které mohou mít za následek jejich zničení.

V třetí části bakalářské práce se seznámíme s postupy při dimenzování součástek napájecích zdrojů.

Mnohé součástky v napájecích zdrojích vyžadují chlazení. Popíšeme si základní možnosti chlazení těchto prvků.

Poslední část bakalářské práce je zaměřena na praktický návrh lineárního napájecího zdroje s výstupním stejnosměrným napětím 12 a 24V a proudem 20A pro různé způsoby zatěžování.

## 2. Elektrické napájecí zdroje

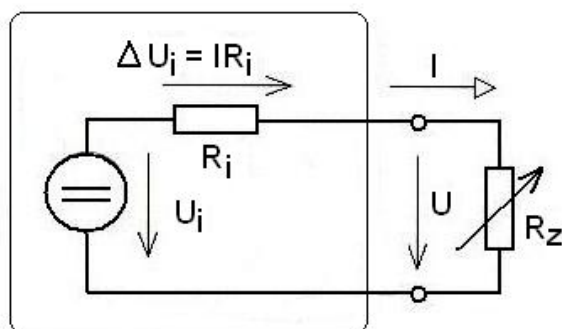
### 2.1. Náhradní schéma elektrických zdrojů

Elektrické přístroje vyžadují ke své činnosti zdroje elektrické energie. Některé přístroje pracují na síťovém napětí, tzn. jsou přímo připojeny k dostupné síti střídavého napětí. Veliká část elektrických přístrojů však ke své činnosti potřebuje stejnosměrné napětí o nižší napěťové hladině. Z tohoto důvodu se začaly konstruovat stejnosměrné zdroje napětí. Základní vlastností elektrických zdrojů je jeho vnitřní odpor. Podle hodnoty vnitřního odporu rozdělujeme zdroje na:

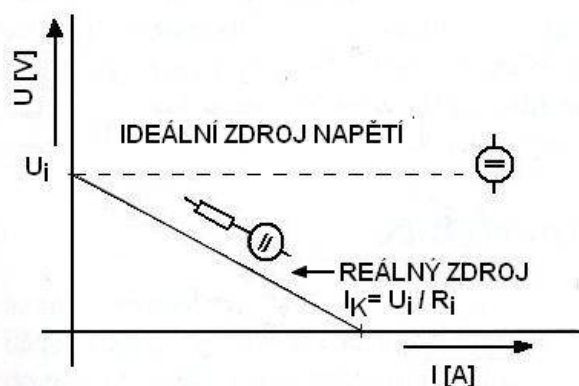
- a) napěťové
- b) proudové [6]

#### 2.1.1. Napěťové zdroje

Napěťové zdroje se vyznačují schopností dodávat do napájeného spotřebiče velké proudy při malém poklesu napětí na svorkách zdroje. Tato schopnost je dána malým vnitřním odporem zdroje. Tyto zdroje můžeme také označovat jako zdroje tvrdé. Napěťový zdroj, jehož vnitřní odpor je roven nule, považujeme za ideální. V praxi se však setkáváme se zdroji reálnými, jejichž vnitřní odpor dosahuje určité hodnoty. Za hlavního představitele tvrdého napěťového zdroje můžeme považovat akumulátor v osobním automobilu. [6]



Obr.2.1.1.1 Náhradní schéma reálného zdroje napětí <sup>1</sup>



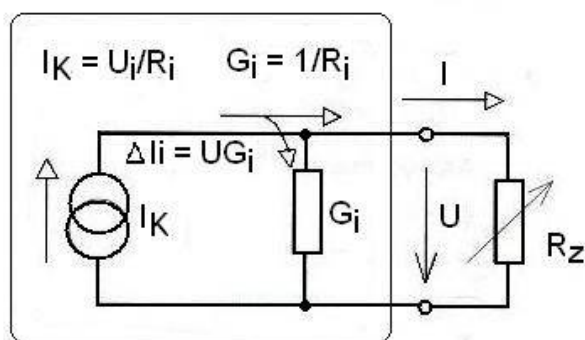
Obr.2.1.1.2 Ampérovoltová charakteristika zdroje napětí <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zdroj: LANÍČEK, R. Elektronika, obvody – součástky – děje, str. 22

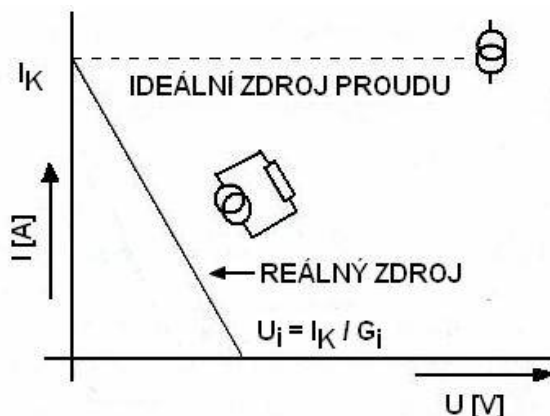
<sup>2</sup> Zdroj: LANÍČEK, R. Elektronika, obvody – součástky – děje, str. 22

### 2.1.2. Proudové zdroje

Proudové zdroje mají velký vnitřní odpor, proto připojený spotřebič k tomuto zdroji má ve srovnání s vnitřním odporem proudového zdroje značně nižší hodnotu. Z tohoto důvodu není možné, aby odpor spotřebiče ovlivnil proud tekoucí obvodem. Tyto zdroje označujeme za tzv. měkké zdroje. Proud vytékající z proudového zdroje je ve většině případů malý a takřka konstantní. Ideální zdroj dosahuje nekonečně velkého vnitřního odporu. Tvrdost nebo měkkost zdroje je nutno posuzovat v závislosti na hodnotě odporu připojeného spotřebiče. V případě, že je vnitřní odpor zdroje mnohonásobně menší než odpor připojeného spotřebiče, bude pracovat zdroj jako napěťový. V opačném případě zdroj pracuje jako proudový. [6]



Obr.2.1.2.1 Náhradní schéma reálného zdroje proudu <sup>3</sup>



Obr.2.1.2.2 Voltampérová charakteristika zdroje proudu <sup>4</sup>

## 2.2. Síťové napájecí zdroje

Napájení elektrických přístrojů je v mnoha případech zajišťováno síťovými zdroji. Tyto zdroje jsou konstruovány tak, aby byly schopny napájet přístroje nízkým stejnosměrným napětím. Napájecí zdroj představuje soubor dílčích obvodů a prvků jako jsou transformátor, usměrňovač, vyhlazovací a filtrační člen, stabilizátor. Na konec tohoto řetězce je již možno připojit napájený spotřebič. [7]

Transformátory přeměňují střídavé napětí sítě na malé napětí. Současně také galvanicky oddělují připojené zařízení od sítě. Usměrňovače usměrňují protékající proud a napětí na spotřebiči.

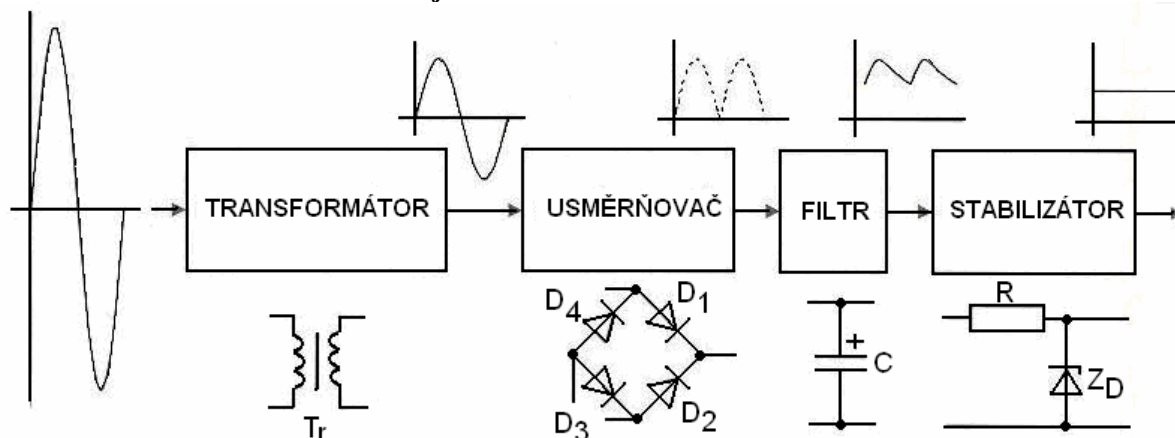
<sup>3</sup> Zdroj: LANÍČEK, R. Elektronika, obvody – součástky – děje, str. 23

<sup>4</sup> Zdroj: LANÍČEK, R. Elektronika, obvody – součástky – děje, str. 23

Po usměrnění je však napětí pulzující a proto se do řetězce přidávají tzv. vyhlazovací filtry. Vyhlazovací filtr je realizován nejčastěji kondenzátorem patřičné kapacity, který shromažďuje elektrický náboj a v okamžiku, kdy dochází k poklesu napětí směrem k nule, dojde k jeho uvolnění. Stabilizátory slouží k udržení konstantního napětí na výstupu při změnách úrovně napětí na vstupu či změně hodnoty proudu odebíraného ze zdroje. Podle typu stabilizátoru (regulátoru) rozlišujeme dva základní typy zdrojů:

- a) lineární síťové zdroje
- b) spínané síťové zdroje [6]

### 2.2.1. Lineární síťové zdroje



Obr.2.2.1.1 Blokové schéma lineárního síťového zdroje napětí <sup>5</sup>

Potřeba malého stejnosměrného napětí pro napájení elektrických přístrojů vedla k návrhům síťových napájecích zdrojů. Jednoduchý síťový zdroj se skládá z několika částí, které na sebe navzájem navazují. Na prvním místě je to transformátor, který transformuje, jak již název napovídá elektrickou energii jedné parametru na elektrickou energii parametrů jiných. Dále je to usměrňovač, který převedené střídavé napětí z transformátoru upraví na stejnosměrné. Toto napětí není zcela přímkové, proto se za usměrňovač zařazuje tzv. filtrační kondenzátor, který vyhladí případné zvlnění, které za usměrňovačem může nastat. Poslední částí je stabilizátor, který stabilizuje výstupní napětí při změnách zatížení, velikosti vstupního napětí a teploty. [7]

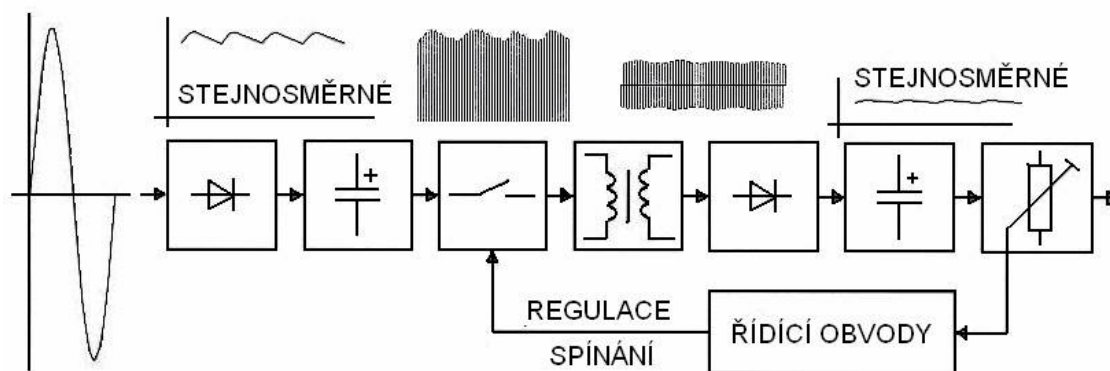
### 2.2.2. Spínané síťové zdroje

Spínané zdroje mají oproti klasickým zdrojům napětí nespočet výhod. Zdroje tohoto typu dosahují vysoké účinnosti a i přes svou konstrukční složitost jsou finanční náklady na jejich výrobu srovnatelné, ba dokonce v některých případech i nižší. Vysoké účinnosti je dosahováno na základě odporové regulace spínáním. Dochází zde k opakovanému odpojování a připojování zátěže s velkou rychlostí. Jako spínací prvky jsou aplikovány nejčastěji tranzistory a tyristory. Spínané zdroje se vyznačují oproti předešlému typu nižší hmotností a samotnou velikostí celého zdroje. Zvyšováním kmitočtu střídavého napětí je možno dostat rozměr finálního zdroje na velmi malou velikost. K transformaci napětí s vysokým kmitočtem je možno použít transformátor s malým feritovým jádrem. Filtrační obvody pak dosahují také velmi malých rozměrů. [6]

Spínané zdroje pracují na principu usměrnění a vyfiltrování střídavého napětí sítě, které se posléze rozseká spínacím tranzistorem na jednotlivé části. Frekvence spínání je 20 až 100 kHz. Impulsním transformátorem se transformuje proměnné napětí, které se usměrní rychlým usměrňovačem. V komparátoru se posléze snímá filtrované napětí, které se porovnává s referenční hodnotou.

<sup>5</sup> Zdroj: LANÍČEK, R. Elektronika, obvody – součástky – děje, str. 436

V případě, že nastane odchylka, dojde ke změně frekvence nebo střídá z důvodu stabilizování výstupního napětí na požadovanou hodnotu. Jelikož se řídicí smyčka vrací na výstupní stranu transformátoru, odděluje se galvanicky buďto transformátorem nebo optronem. Mezi nevýhody tohoto typu zdrojů patří jejich složitost, pomalejší reakce na změny a v neposlední řadě možnost vysokofrekvenčního rušení. [6]



Obr.2.2.2.1 Blokové schéma spínaného síťového zdroje napětí <sup>6</sup>

### Srovnání vybraných vlastností lineárních a spínaných napájecích zdrojů

PARAMETR	SPÍNANÝ ZDROJ	LINEÁRNÍ ZDROJ
účinnost	75 %	30 %
velikost	0,2 W/cm <sup>3</sup>	0,05 W/cm <sup>3</sup>
hmotnost	100 W/kg	20 W/kg
výstupní zvlnění	50 mV	5 mV
šumové napětí	200 mV	50 mV
odezva na skok	1 ms	20 us
doba náběhu	20 ms	2 ms
cena	takřka konstantní	s výkonem zvyšující se

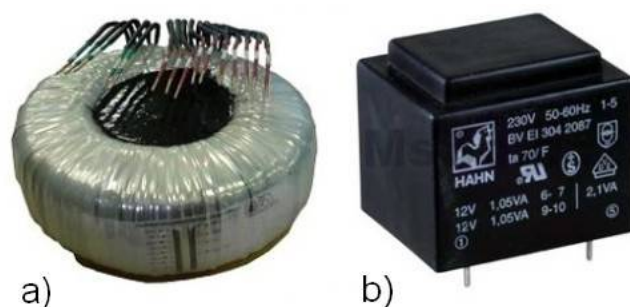
Tab. 2.2.2.1 Srovnání lineárních a spínaných zdrojů <sup>7</sup>

## 2.3. Transformátory

Transformátor je elektrický netočivý stroj, který přeměňuje elektrickou energii jedné parametrů na elektrickou energii jiných parametrů. Transformátory se skládají z magneticky dobře uzavřeného jádra, na němž je navinuta cívka s vinutími. Vstupní vinutí označujeme jako primární a výstupní jako sekundární. Jako základní dělení transformátorů můžeme považovat transformátor snižující napětí a transformátor zvyšující napětí. Principem jeho činnosti je průtok střídavého proudu primárním vinutím, kde vzniká v dutině cívky a uzavřeném jádru časově proměnný magnetický tok, který indukuje v sekundárním vinutí střídavé elektrické napětí. Po připojení zátěže k sekundární části jím protéká elektrický proud. [1]

<sup>6</sup> Zdroj: LANÍČEK, R. Elektronika, obvody – součástky – děje, str. 437

<sup>7</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 206



Obr.2.3.1 Vybrané typy transformátorů pro napájecí zdroje: a) toroidní transformátor, b) transformátor pro montáž na DPS <sup>8</sup>

## 2.4. Usměrňovače

V oblasti napájecích zdrojů se začalo používat několik základních zapojení usměrňovačů, které svým zapojením plní správnou funkci pro získání napětí požadovaných parametrů. Vlastnosti používaných usměrňovačů podle typu můžeme rozdělit na:

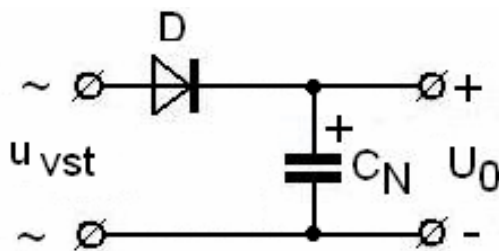
Pro síťový kmitočet 50 Hz

- a) jednocestný usměrňovač (vysoká napětí, malé proudy, velké zvlnění)
- b) dvoucestný usměrňovač (nízká napětí, velké proudy, malé zvlnění)
- c) můstkový usměrňovač (střední napětí, velké proudy, malé zvlnění)
- d) zdvojovač napětí (vysoká napětí, malé proudy, velké zvlnění)
- e) násobič napětí (velmi vysoká napětí, velmi malé proudy, velké zvlnění)

Pro vyšší kmitočty okolo 100 Hz

- a) jednocestný usměrňovač (nízká napětí, vysoké proudy, malé zvlnění)
- b) dvoucestný usměrňovač (nízká napětí, velké proudy, malé zvlnění, omezuje stejnosměrné syčení jádra transformátoru) [5]

### 2.4.1. Jednocestný usměrňovač



Obr.2.4.1.1 Schéma zapojení jednocestného usměrňovače s nabíjecím kondenzátorem <sup>9</sup>

Jednocestné usměrňovače využívají ke své činnosti jedné diody. Volba vhodné diody je dána požadavkem na velikost střední hodnoty výstupního proudu. Z dostupných součástek volíme diodu podle střední hodnoty proudu diodou v propustném směru s dostatečnou rezervou, až 100%. Dalším kritériem pro výběr diody je hodnota závěrného elektrického napětí podle špičkové hodnoty napětí na výstupu transformátoru. V případě, že není připojena zátěž, nedochází k odběru proudu a kondenzátor

<sup>8</sup> Zdroj: TKOTZ, K a kol. Příručka pro elektrotechnika., str. 273

<sup>9</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 35

se nabíje až na tuto špičkovou hodnotu napětí. Napětíové namáhání diody je tedy dáno součtem špičkového výstupního napětí transformátoru a maximální hodnoty napětí na kondenzátoru:

$$U_{R\max} = u_{sek} \cdot \sqrt{2} + U_0 = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot u_{sek} \quad (1)$$

Vybíráme tedy diodu pro  $U_R > U_{R\max}$  ideálně s rezervou 20 až 100%.

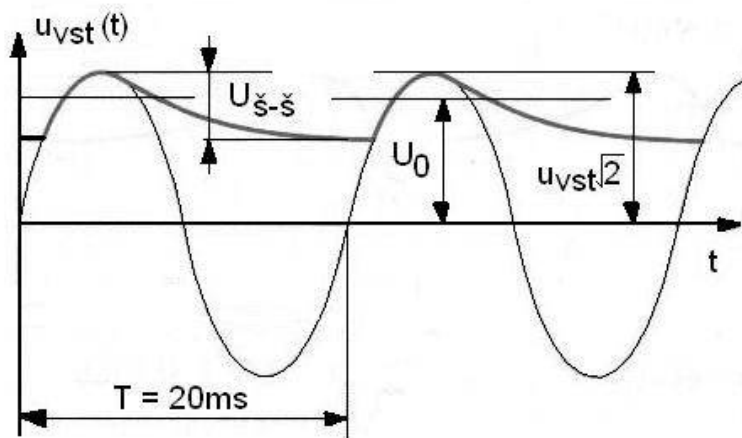
Součástí jednocestného usměrňovače bývá nabíjecí kondenzátor. Kapacitu tohoto kondenzátoru volíme na základě požadavku velikosti zvlnění, které je dáno vztahem:

$$p = \frac{U_{\check{s}-\check{s}}}{U_0 \cdot 100} \quad (2)$$

Se znalostí hodnoty zvlnění můžeme určit kapacitu nabíjecího kondenzátoru a to vztahem:

$$C_{N\min} = \frac{600 \cdot I}{p \cdot U_0} \quad (3)$$

Výběr vhodného nabíjecího kondenzátoru z dostupných součástek volíme s ohledem na požadavek  $C_N > C_{N\min}$ . Typ provedení kondenzátoru volíme podle dovolené hodnoty stejnosměrného elektrického napětí dle požadavku  $U_C > U_0$ .

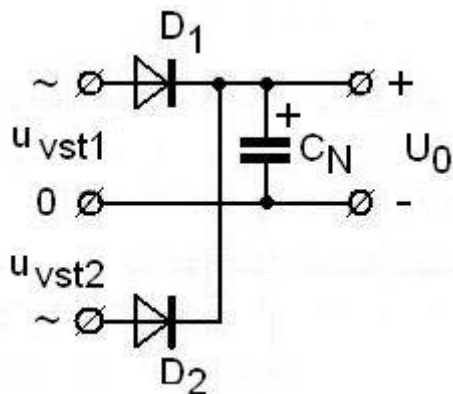


Obr.2.4.1.2 Průběh napětí jednocestného usměrňovače s nabíjecím kondenzátorem <sup>10</sup>

Montáž diody a nabíjecího kondenzátoru na desku plošného spoje se řídí základními pravidly mimo výjimky. Diody je vhodné ochlazovat chladičem, s kterým je dioda vhodným způsobem spojena. V případě, že není nutno chladič diody instalovat, je vhodné diodu umístit na okraj desky plošného spoje s dostatečnou distanční vrstvou nad deskou plošného spoje tak, aby docházelo k dostatečnému větrání. Již při návrhu plošného spoje je vhodné zvolit polohu montáže nabíjecího kondenzátoru (elektrolytického) co nejdále od tepelných zdrojů jako jsou výkonové rezistory, chladiče, atp. [5]

<sup>10</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 35

### 2.4.2. Dvoucestný usměrňovač

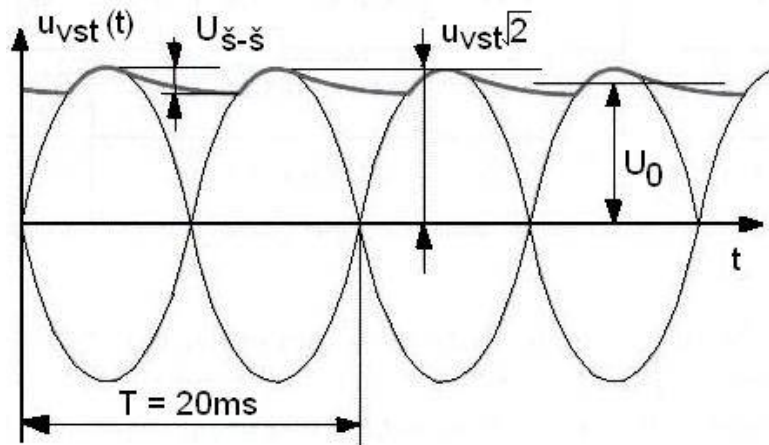


Obr.2.4.2.1 Schéma zapojení dvoucestného usměrňovače s nabíjecím kondenzátorem <sup>11</sup>

Dvoucestný usměrňovač v tomto provedení vyžaduje transformátor s dvěma symetrickými vinutími transformátoru. Tato skutečnost přináší jistou nevýhodu při konstruování zdroje s tímto usměrňovačem na výběr vhodného transformátoru. Zvlnění výstupního napětí dosahuje frekvence 100 Hz, což odpovídá dvojnásobku frekvence sítě. U dvoucestného usměrňovače oproti předešlému typu jednou diodou protéká pouze polovina výstupního proudu. Diody v tomto zapojení jsou mnohonásobně přetížitelné. Napěťové dimenzování diod u tohoto typu usměrňovače je dáno podmínkou:  $U_R > 2 \cdot U_0$ . Nabíjecí kapacitu volíme dle vztahu:

$$C_{N \min} = \frac{300 \cdot I}{p \cdot U_0} \quad (4)$$

Hodnotu jmenovitého napětí kondenzátoru zvolíme na základě splnění podmínky  $U_C > U_0$ .



Obr.2.4.2.2 Průběh napětí dvoucestného usměrňovače s nabíjecím kondenzátorem <sup>12</sup>

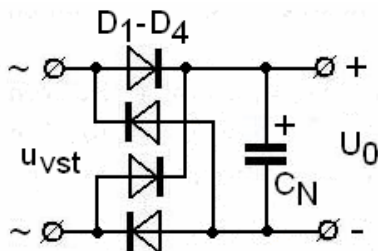
Konstrukční uspořádání jednotlivých prvků je vhodné volit principiálně stejně jako u jednocestného usměrňovače. [5]

<sup>11</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 43

<sup>12</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 43



### 2.4.3. Můstkový usměrňovač jednofázový



Obr.2.4.3.1 Schéma zapojení můstkového jednofázového usměrňovače s nabíjecím kondenzátorem <sup>13</sup>

U můstkového usměrňovače teče jednou diodou pouze polovina stejnosměrného výstupního proudu. Je zde rozhodující střední hodnota proudu diodou za dobu jedné periody. Tato hodnota proudu způsobuje výkonové namáhání diody. Proudové diody jsou mnohonásobně přetížené. Napětové dimenzování diod je u tohoto usměrňovače komplikované. Při dimenzování diod z hlediska napětových možností vycházíme ze dvou úvah.

Předpokládáme-li, že se závěrné napětí rozloží mezi diody rovnoměrně, můžeme volit diody dle podmínky:  $U_R > U_0$

Druhá teorie naplňuje skutečnost, že dvě současně závěrně polarizované diody mohou být odlišné a jejich závěrná napětí mohou být tedy také jiná. Na základě této teorie je zapotřebí dimenzovat všechny diody na plné závěrné napětí podle vztahu:

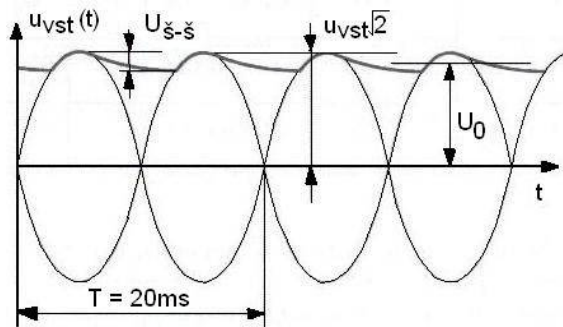
$$U_0 + \sqrt{2} \cdot u_{vst} = 2 \cdot U_0 \quad (5)$$

$$U_R > 2 \cdot U_0$$

Vezmeme-li v úvahu, že pro část půlperiody bude platit spíše první teorie a pro druhou část teorie druhá, zvolíme všechny diody u tohoto usměrňovače podle podmínky  $U_R > 2 \cdot U_0$  s 50% rezervou. Podle požadavků na výstupní zvlnění volíme vhodnou nabíjecí kapacitu ze vztahu:

$$C_N = \frac{300 \cdot 1}{(p \cdot U_0)} \quad (6)$$

Pro chlazení diod je vhodné zvolit dvě diody, které mají katody spojené s pouzdrům a dvě diody, které mají anody spojené s pouzdrům. Tím je možno umístit čtyři diody na dva chladiče, čímž šetříme finanční prostředky na výrobu a zmenšíme rozměry finálního zařízení. [5]

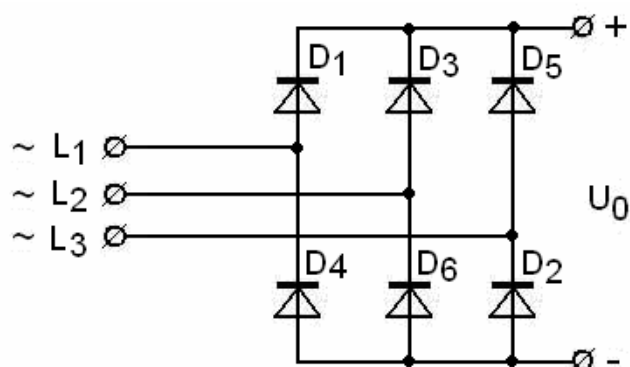


Obr.2.4.3.2 Průběh napětí můstkového jednofázového usměrňovače s nabíjecím kondenzátorem <sup>14</sup>

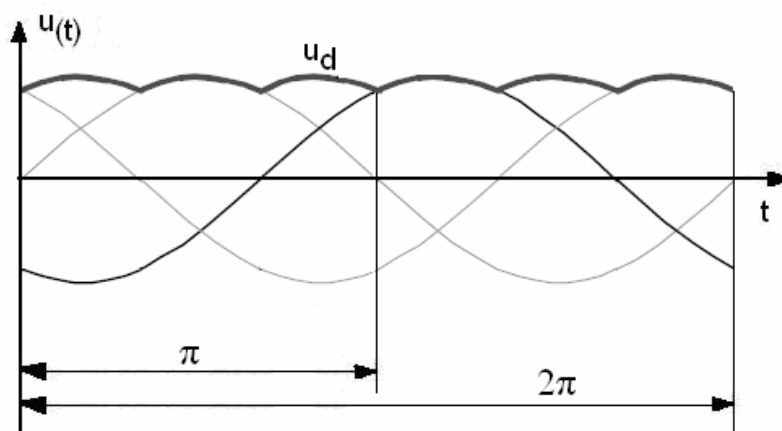
<sup>13</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 45

#### 2.4.4. Můstkový usměrňovač třífázový

Třífázové můstkové usměrňovače využívají ke své činnosti šest polovodičových diod. Napětí v jednotlivých fázích působí vždy na jednu dvojici ze tří větví. U tohoto typu usměrňovače není zapotřebí nulového vodiče. V třífázovém můstkovém zapojení je vodivá vždy jedna dioda z horní trojice diod, současně s diodou zapojenou ve spodní trojici, jak je naznačeno ve schématu zapojení. Proud prochází vždy dvojicí diod, na kterých se v daném okamžiku objevuje nejvyšší napětí. Velikost proudu tekoucího jednou větví nabývá přibližně třetinové velikosti stejnosměrného proudu na výstupu. Třífázové usměrňovače se vyznačují malým zvlněním, což umožňuje za jistých podmínek vynechání filtračních kondenzátorů. [7]



Obr. 2.4.4.1 Schéma zapojení můstkového třífázového usměrňovače <sup>15</sup>



Obr. 2.4.4.2 Průběh napětí můstkového třífázového usměrňovače <sup>16</sup>

#### 2.4.5. Zdvojovač napětí

Zapojení je realizováno dvěma jednocestnými usměrňovači. Každá polovina tohoto zapojení je navrhována podle pravidel platících pro jednocestný usměrňovač, kde obě poloviny jsou shodné. Zatěžování transformátoru je symetrické a nevzniká zde stejnosměrné sycení jádra. Průběh výstupního

<sup>14</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 43

<sup>15</sup> Zdroj: TKOTZ, K a kol. Příručka pro elektrotechnika., str. 194

<sup>16</sup> Zdroj: TKOTZ, K a kol. Příručka pro elektrotechnika., str. 195

napětí zdvojovače je znázorněn na obr. 2.4.5.2. Hodnoty elektrických napětí na nabíjecích kondenzátorech se sčítají a výstupní napětí je dáno vztahem:

$$U_0 = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot u_{vst1} \quad (7)$$

Empirickým vztahem je dáno i výstupní zvlnění a to ve tvaru:

$$p = \frac{1200 \cdot I}{(C_N \cdot U_0)} \quad (8)$$

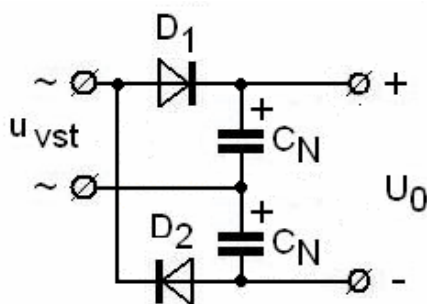
Výstupní zvlnění je však dáno pro celé výstupní napětí výrazem:

$$p = \left( \frac{2 \cdot U_{\check{s}-\check{s}}}{U_0} \right) \cdot 100 \quad (9)$$

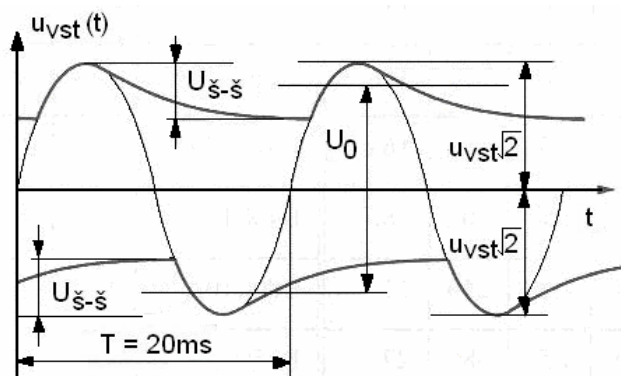
Navrhování diod je obdobné jako u jednocestného usměrňovače napětí. Každá dioda u zdvojovače napětí musí být však dimenzována svojí střední hodnotou propustného proudu  $I_F$  na stejnosměrnou hodnotu proudu do zátěže a to:  $I_0 = I$ ,  $I_F > I$ . Pro napěťové namáhání platí, že hodnota závěrného napětí musí být větší než:

$$U_R > u_{vst1} \cdot \sqrt{2} + \frac{U_0}{2} = U_0 \quad (10)$$

[5]



Obr.2.4.5.1 Schéma zapojení zdvojovače napětí <sup>17</sup>



Obr.2.4.5.2 Průběh výstupního napětí zdvojovače napětí <sup>18</sup>

<sup>17</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 46

<sup>18</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 48

### 2.4.6. Kaskádní násobič napětí

Kaskádní násobiče napětí se využívají pro velmi malé proudy a vysoká napětí, kde se nevyplatí aplikovat transformátory s vysokým napětím na výstupu transformátoru. Násobiče napětí umožňují napětí násobit teoreticky nekonečně, v praxi se však využívá koeficient násobení 10x. [5]

Po připojení ke zdroji napětí dojde k nabíjení prvního kondenzátoru na hodnotu amplitudy. V další části periody se napětí přičte k napětí zdroje a dojde k nabíjení horního kondenzátoru, tentokrát na dvojnásobek amplitudy. V další půlperiodě zdroj napětí změní polaritu, kdy dojde součtem napětí  $3U_{MAX}$  k nabíjení kondenzátorů v sériovém spojení. Jelikož je na prvním kondenzátoru napětí  $U_{MAX}$ , zůstává pro spodní pravý kondenzátor dvojnásobek amplitudy. V té době se dobíjí i kondenzátor první přes první diodu na hodnotu napětí  $U_{MAX}$ . Na každém dalším kondenzátoru v obvodu je dvojnásobek amplitudy napětí zdroje.

Samotný návrh kaskádního násobiče vychází z empirických vztahů.

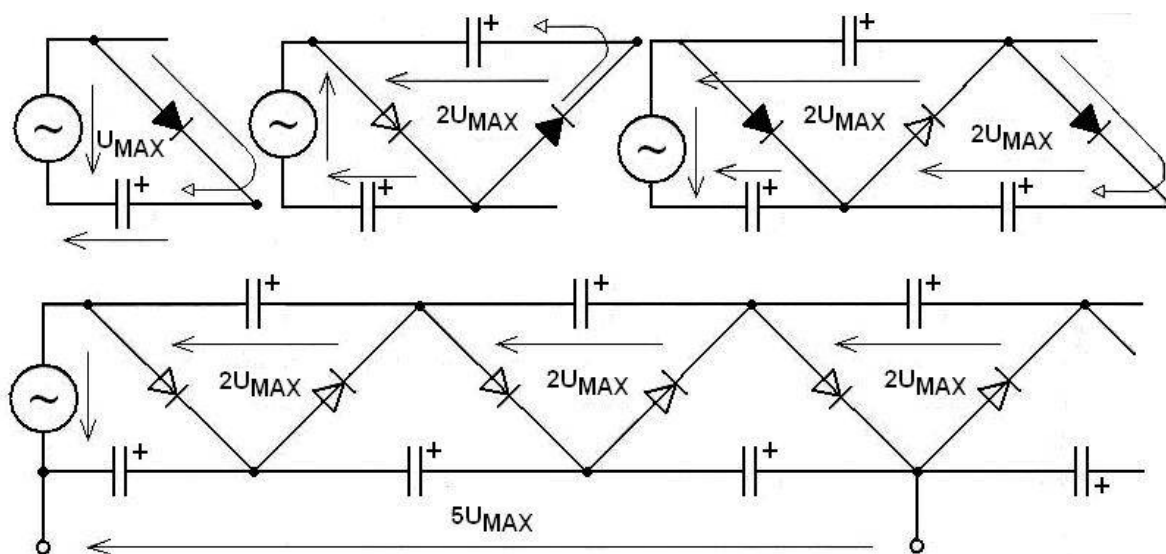
Pro potřebné napětí zdroje platí:

$$U_z = \frac{0,85 \sum U}{n} \quad (11)$$

Pro kapacity kondenzátorů kaskádního násobiče napětí platí:

$$C = I \cdot \frac{4n^2 + 2n}{f \cdot \sum U} \quad (12)$$

[6]



Obr.2.4.5.1 Schéma zapojení kaskádního násobiče napětí <sup>19</sup>

<sup>19</sup> Zdroj: LANÍČEK, R. Elektronika, obvody – součástky - děje, str. 440

## 2.5. Stabilizátory

Stabilizátory jsou elektrické obvody, které jsou svou činností schopny stabilizovat výstupní elektrické napětí nebo proud při změnách:

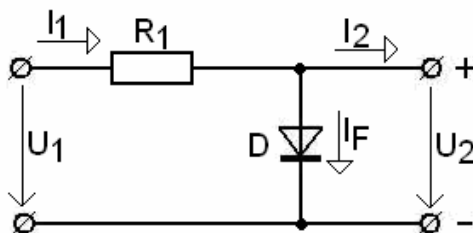
- a) výstupního proudu
- b) vstupního napětí
- c) okolní teploty [5]

### 2.5.1. Parametrické stabilizátory

Parametrické stabilizátory pracují na principu možného vzniku rozdílu mezi stejnosměrným a dynamickým odporem stabilizační součástky v oblasti pracovního bodu. V případě, že v pracovním bodě dosahuje dynamický odpor mnohem menší hodnoty, než stejnosměrný, hovoříme o parametrickém stabilizátoru napětí. U parametrického stabilizátoru proudu je tomu naopak. [5]

#### 2.5.1.1. Stabilizátor s diodou

Jako stabilizátor malého napětí je možné použít jakýkoli typ moderní polovodičové diody. Tyto stabilizátory nacházejí uplatnění v nenáročných aplikacích. Schéma zapojení takového stabilizátoru je na obr. 2.5.1.1.1



Obr. 2.5.1.1.1 Schéma zapojení stabilizátoru s diodou <sup>20</sup>

Hodnotu odporu rezistoru  $R_1$  ze schématu zapojení určíme na základě vztahu:

$$R_1 = \frac{(U_1 - U_F)}{I_1} \quad (13)$$

kde:

$U_1$  – je vstupní nestabilizované napětí

$U_F$  – je velikost propustného napětí diody při proudu  $I_F$  a velikost stabilizovaného výstupního napětí

$I_1$  – součet proudu do diody a do zátěže

Proud  $I_F$  volíme nejlépe  $I_F > I_2$  tak, aby nedocházelo k nadměrnému přetížení diody proudem  $I_{Fmax}$  a naopak tak, aby při proudu  $I_{2max}$  neklesl proud tekoucí diodou pod hodnotu  $I_{Fmin}$ , kdy dochází k prudkému poklesu napětí na diodě v koleně voltampérové charakteristiky.

Změna napětí na výstupu stabilizátoru v závislosti na změně velikosti zátěže a tím i změně proudu tekoucího do zátěže, vyjadřuje tzv. činitel stabilizace proudu:

$$S_I = \frac{dU_2}{dI_2} \quad (14)$$

<sup>20</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 55

Jelikož při nárůstu proudu  $I_2$  a o  $dI_2$  dojde ke snížení proudu diodou o hodnotu  $dI_2 = dI_F$  a změna napětí na výstupu  $dU_2$ , je změnou napětí v propustném směru na diodě  $dU_2 = dU_F$  a dojde k úpravě činitele stabilizace proudu na tvar:

$$S_I = \frac{dU_2}{dI_2} = \frac{dU_F}{dI_F} = R_{dyn} \quad (15)$$

Ideální hodnoty činitele stabilizace dosáhneme v případě že  $S_I = 0$ .

Velikost změny výstupního napětí v závislosti na velikosti proudu tekoucího do zátěže je dána vztahem:

$$dU_2 = R_{dyn} \cdot dI_2 \quad (16)$$

z čehož vyplývá, že čím menší je hodnota odporu  $R_{dyn}$ , tím menší nastává změna napětí na výstupu při změně velikosti proudu do zátěže.

Činitel napěťové stabilizace je dán vztahem:

$$S_U = \frac{dU_2}{dU_1} = \frac{R_{dyn}}{R_1} \quad (17)$$

Výkonová účinnost stabilizátoru je dána vztahem:

$$\eta = \frac{U_2 \cdot I_2}{U_1 \cdot I_1} \cdot 100 \quad (18)$$

Teplotní činitel stabilizace je dán vztahem:

$$S_\tau = \frac{dU_2}{d\tau} = \frac{dU_F}{d\tau} = \alpha_{TKUF} \quad (19)$$

kde:

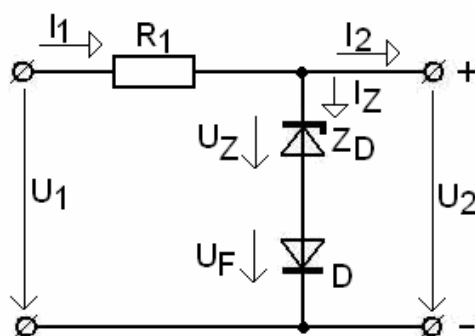
$\alpha_{TKUF}$  – je teplotní koeficient propustného napětí

[5]

#### 2.5.1.2. Stabilizátor se Zenerovou diodou

Pro stabilizaci potřebujeme součástku, u níž dochází v závěrném směru k rychlému nárůstu proudu při pomalém nárůstu napětí. Tento předpoklad nejlépe splňuje tzv. Zenerova dioda.

Zenerova dioda se vyznačuje průrazným napětím v závěrném směru, které nabývá jednotky voltů. Tento průraz je pro diodu nedestruktivní. Zapojení stabilizátoru se Zenerovou diodou je znázorněno na obr. 2.5.1.2.1.



Obr. 2.5.1.2.1 Schéma zapojení stabilizátoru se Zenerovou diodou <sup>21</sup>

Ze schématu zapojení je patrné, že Zenerova dioda je k zátěži připojována paralelně. Samotný návrh vychází ze dvou možností:

- použít Zenerovu diodu, u které se kompenzuje z hlediska teplotní závislosti Zenerův jev a lavinový jev.
- použít Zenerovu diodu u které je teplotní koeficient Zenerova napětí kladný a rovný  $\alpha_{TKUZ} = 2 \text{ mV} \cdot \text{K}^{-1}$  s tím, že tuto diodu sériově spojíme s usměrňovací diodou zapojenou v propustném směru s teplotním koeficientem  $-2 \text{ mV} \cdot \text{K}^{-1}$ . Tímto opatřením docílíme teplotní nezávislosti výstupního stabilizovaného napětí.

Veškeré výpočty jsou totožné jako u stabilizátoru s diodou avšak teplotní činitel stabilizace se mění na vztah:

$$S_{\tau} = \frac{dU_2}{d\tau} = \alpha_{TKUZ} \quad (20)$$

[5]

## 2.5.2. Lineární třísvorkové stabilizátory napětí řady 78xx a 79xx

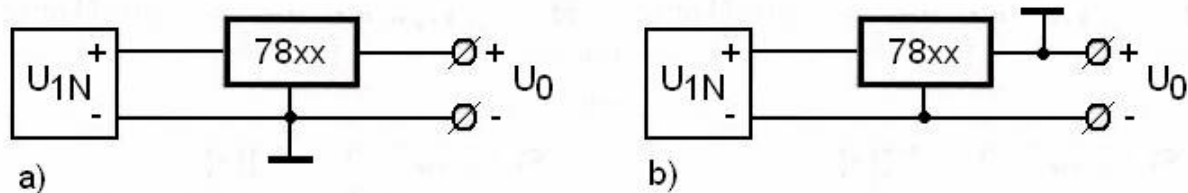
Mezi lineární třísvorkové stabilizátory řadíme pět základních typů, které se liší svými charakteristikami, vhodností použití a v neposlední řadě finanční stránkou. Jednotlivé typy lineárních třísvorkových stabilizátorů jsou:

- kladný
- záporný
- s pevným výstupem
- sledovací
- plovoucí [5]

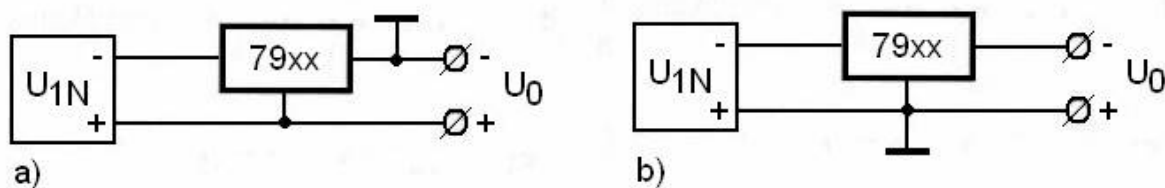
### 2.5.2.1. Kladné a záporné stabilizátory napětí

Volba vhodného typu stabilizátoru se řídí požadavkem na získání buďto kladného či záporného napětí. Oba typy stabilizátorů mohou být použity jak pro kladné, tak i záporné napětí. Provedení se liší místem připojeného zemnění. Na obrázku 2.5.2.1.1 a 2.5.2.1.2 jsou znázorněny jednotlivé typy zapojení. [3]

<sup>21</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 59



Obr.2.5.2.1.1 Stabilizátor 78xx pro a) kladné napětí, b) záporné napětí <sup>22</sup>

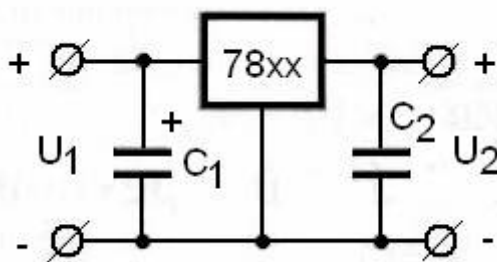


Obr.2.5.2.1.2 Stabilizátor 79xx pro a) kladné napětí, b) záporné napětí <sup>23</sup>

### 2.5.2.2. Stabilizátory s pevným výstupním napětím

Mezi hlavní výhody konstrukce stabilizátoru s pevným výstupním napětím se stabilizátory řady 78xx a 79xx je jejich jednoduchá aplikace, vnitřní proudové omezení, tepelná pojistka a nízká pořizovací cena.

Na obr. 2.5.2.2.1 je znázorněno schéma zapojení stabilizátoru z řady 78xx. Kondenzátor  $C_1$  volíme takový, aby střídavá složka vstupního stejnosměrného napětí  $U_1$  nepřesáhla hodnotu 10 % tohoto napětí. Kondenzátor  $C_2$  v zapojení plní funkci omezení rozkmitu stabilizátoru na vysoké frekvenci. Při výběru vhodného kondenzátoru  $C_2$  se přikláníme ke keramickým kondenzátorům s nízkou parazitní indukčností. [5]



Obr.2.5.2.2.1 Schéma zapojení stabilizátoru s pevným výstupním napětím <sup>24</sup>

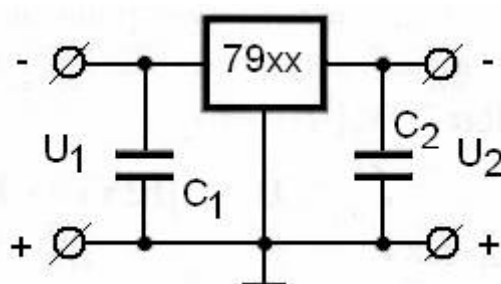
V případě, že potřebujeme získat záporná napětí, můžeme použít například některý stabilizátor z řady 79xx. Na obr. 2.5.2.2.2 vidíme zapojení tohoto stabilizátoru. Kondenzátor  $C_1$  se do obvodu zapojuje v případě, že je umístěn od zdroje o více než 5 až 10 cm. Typ kondenzátoru volíme vysokofrekvenčního typu. Pro zlepšení impulsní odezvy zdroje zapojíme do obvodu kondenzátor  $C_2$ . [5]

<sup>22</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 92

<sup>23</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 93

<sup>24</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 95



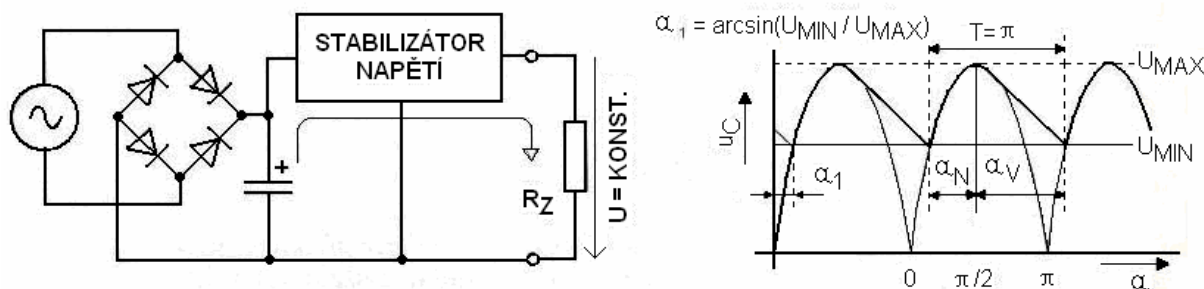


Obr. 2.5.2.2.2 Schéma zapojení stabilizátoru s pevným záporným výstupním napětím <sup>25</sup>

## 2.6. Filtrace

Pro filtraci napětí z usměrňovače se nejčastěji používají filtry z rezistorů, tlumivek nebo kondenzátorů. Nejběžnějším prvkem filtrů je filtrační kondenzátor požadované kapacity. Filtrace je proces, kdy dochází ke zmenšení nebo úplnému odstranění střídavé složky napětí. Napětí na filtračním kondenzátoru se mění v závislosti na připojené zátěži. V případě, že není ke zdroji připojena zátěž, může napětí na filtračním kondenzátoru dosáhnout hodnoty napětí na výstupu transformátoru. [7]

### 2.6.1. Výpočet filtračního kondenzátoru stabilizovaného zdroje



Obr. 2.6.1.1 Schéma zapojení a průběh napětí pro návrh filtračního kondenzátoru <sup>26</sup>

Výpočet vychází z rovnice lineárního vybíjení filtračního kondenzátoru ve tvaru:

$$u_C = U_{MAX} - \frac{I}{C} \cdot t \quad (21)$$

Použitím substituce  $\alpha = \omega \cdot t$  dosadíme do rovnice pro lineární vybíjení:

$$U_{MIN} = U_{MAX} - \frac{1}{C} \cdot \frac{\alpha_v}{\omega} \quad (22)$$

Po úpravě dostáváme rovnici ve tvaru:

$$\alpha_v = \frac{\omega \cdot C}{I} \cdot (U_{MAX} - U_{MIN}) \quad (23)$$

<sup>25</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 96

<sup>26</sup> LANÍČEK, R. Elektronika, obvody – součástky – děje, str. 444

Pro nabíjení platí rovnice ve tvaru:

$$\alpha_N = \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{U_{MIN}}{U_{MAX}} \quad (24)$$

Perioda signálu je ve tvaru:

$$T = \alpha_N + \alpha_v = \pi \quad (25)$$

Po dosazení:

$$\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{U_{MIN}}{U_{MAX}} + \frac{\omega \cdot C}{I} \cdot (U_{MAX} - U_{MIN}) = \pi \quad (26)$$

Kapacitu filtračního kondenzátoru vyjádříme pomocí vztahu:

$$\frac{\pi}{2} + \arcsin x = \arccos(-x) \quad (27)$$

Kapacita filtračního kondenzátoru je tedy ve tvaru:

$$C \geq \frac{I \cdot \arccos\left(\frac{-U_{MIN}}{U_{MAX}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (U_{MAX} - U_{MIN})} \quad (28)$$

Při samotném návrhu filtračního kondenzátoru vycházíme z předpokladu, že frekvence síťového napětí je  $f = 50$  Hz. Předpokládejme, že může nastat 10 % pokles síťového napětí.

Hodnota maximálního napětí je tedy dána vztahem:

$$U_{MAX} = 0,9 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{SEK} - 2 \cdot U_D - R_i \cdot I \quad (29)$$

Pro hodnotu minimálního napětí platí:

$$U_{MIN} = U + \Delta U \quad (30)$$

Minimální vstupní napětí stabilizátoru musí dosahovat vyšší hodnoty, než je součet napětí na spotřebiči a úbytku napětí na stabilizátoru. [6]

### 3. Ochrany, omezení, jištění, spolehlivost, poruchy napájecích zdrojů

#### 3.1. Pojistky

Pojistky slouží k ochraně elektrických zařízení. V případě, že dojde v obvodu k většímu toku proudu než je jmenovitý proud, musí pojistka zareagovat v podobě přerušení tohoto obvodu. Pojistky se tedy využívají k ochraně elektrických zařízení při zkratu a přetížení. Za nejčastěji používanou pojistku v elektrických přístrojích můžeme považovat tzv. trubičkovou pojistku, která je vyobrazena na obr. 3.1.1



Obr. 3.1.1 Trubičkové pojistky <sup>27</sup>

Pojistky můžeme rozdělit podle vypínací charakteristiky na:

FF – velmi rychlé pojistky

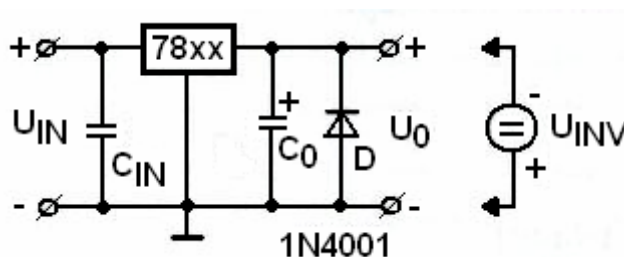
F – rychlé pojistky

T – pomalé pojistky

Dále se také může vyskytovat značení pojistek M nebo MT – středně rychlé pojistky. Pojistky bez značení jsou považovány za pojistky s normální vypínací charakteristikou. [7]

#### 3.2. Ochrana proti přepólování výstupu

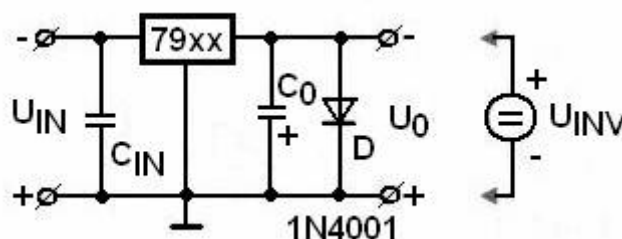
Pro ochranu zdroje při přepólování se využívá diody v antiparalelním zapojení na výstup zdroje. Dioda je v normálním režimu polarizována závěrně a nijak se neprojevuje. V případě, že dojde k namáhání výstupu zdroje opačným napětím  $U_{INV}$  dioda pustí pouze napětí  $U_F = 0,7$  V při použití křemíkové diody, např. 1N4001. Schéma zapojení diody do obvodu je znázorněno na obr. 3.2.1 a 3.2.2 [5]



Obr. 3.2.1 Ochrana proti přepólování výstupu pro kladné napětí <sup>28</sup>

<sup>27</sup> Zdroj: TKOTZ, K a kol. Příručka pro elektrotechnika., str. 43

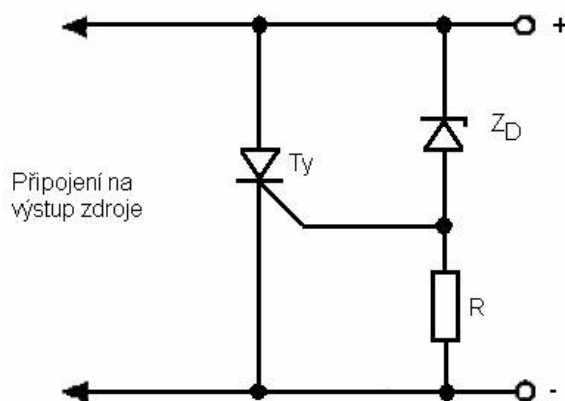
<sup>28</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 113



Obr. 3.2.2 Ochrana proti přepólování výstupu pro záporné napětí <sup>29</sup>

### 3.3. Přepět'ové ochrany

Napájecí zdroje je vhodné chránit proti přepětí. Přepětí může nastat nevhodným provozem zařízení nebo poruchou napájecího zdroje. Za předpokladu, že je napájecí zdroj opatřen některým typem proudové ochrany můžeme využít jednoduchého a spolehlivého zapojení s tyristorem. [4]



Obr. 3.3.1 Příklad zapojení jednoduché přepět'ové ochrany napájecího zdroje <sup>30</sup>

V tomto obvodu je použitý tyristor za normálních podmínek vypnutý. U tohoto zapojení dochází k malému odběru proudu přes Zenerovu diodu a rezistor. Při volbě vhodné Zenerovy diody vycházíme z předpokladu, že musí mít otevírací napětí o něco vyšší než je napětí výstupní. Dojde-li k přepětí, otevře se Zenerova dioda a přes řídicí elektrodu a katodu tyristoru projde proud a tím dojde k sepnutí tyristoru. Na základě toho dojde na výstupu zdroje ke zkratu. Na vzniklý zkrat zareaguje již proudová ochrana zdroje. [4]

<sup>29</sup> Zdroj: KREJČÍK, A. Napájecí zdroje I., str. 113

<sup>30</sup> Zdroj: HAMMERBAUER, J. Elektronické napájecí zdroje a akumulátory., str. 102

## 4. Dimenzování a chlazení prvků napájecích zdrojů

### 4.1. Dimenzování součástek

Při výběru vhodných součástek pro napájecí zdroje je nutné respektovat napětí, proud a výkony na které jsou tyto součástky konstruovány. [8]

#### Polovodičové součástky

Při návrhu napájecího zdroje nás nejvíce zajímá z polovodičových součástek usměrňovací dioda. Při výběru vhodné součástky vycházíme z katalogových listů, kde je udán tzv. jmenovitý proud. Jmenovitý proud je proud, který může diodou procházet za předpokladu správného chlazení této polovodičové součástky. Chlazení je zajišťováno nejčastěji hliníkovými chladiči různého provedení. Při výběru usměrňovací diody je zapotřebí respektovat také špičkový proud, který se může objevit po zapnutí zdroje, kdy dochází k nabíjení filtračních kondenzátorů. Tento proud může trvat několik milisekund a jeho hodnota může dosahovat až desítek ampér. Hodnotu špičkového nebo-li impulsního proudu nalezneme rovněž v katalogovém listu příslušné součástky. [8]

#### Rezistory

Rezistory jsou elektrické součástky, které se vyznačují lineární závislostí proudu na napětí. Rezistory můžeme rozdělit do dvou základních konstrukčních skupin a to rezistory pevné a proměnné. Při výběru hodnoty odporu rezistoru pro náš účel vycházíme z tzv. řady vyvolených čísel E6, E12, E24. Rezistory se vyrábějí s jistou tolerancí, která nabývá hodnot přibližně 0,1 až 20%. Tuto skutečnost musíme brát v potaz zvláště v případě, kdy je potřeba přesné jmenovité hodnoty odporu rezistoru. Zatížitelnost závisí na možnostech odvodu ztrátového tepla rezistoru do okolí. Rezistory se vyrábějí pro různé hodnoty jmenovitého zatěžování, v našem případě nepoužívanější 0,25 až 20 W. Značení rezistorů je buďto číselné a nebo barevnými proužky. [7]

#### Kondenzátory

Kondenzátory v napájecích zdrojích volíme s dostatečnou napěťovou rezervou. Elektrolytické kondenzátory je vhodné zatěžovat max. 80% jmenovitého napětí z důvodu možného vzniku přepětí v napájecí síti. Tuto skutečnost je nutné respektovat, jelikož při překročení dovoleného jmenovitého napětí může dojít k explozi kondenzátoru a tím jeho zničení. Hodnota jmenovitého napětí spolu s hodnotou kapacity je vyznačena na pouzdře součástky. [8]

### 4.2. Chlazení součástek v napájecích zdrojích

#### 4.2.1. Přirozené chlazení

U přirozeného chlazení dochází k odvodu teplého vzduchu od ohřivaného chladiče součástkou směrem vzhůru. Vzniká tedy přirozené proudění vzduchu, který proudí skrze ventilační otvory umístěné ve spodní či boční části přístrojové krabice směrem k ventilačním otvorům v horní části přístrojové krabice. Přirozené chlazení nachází uplatnění u napájecích zdrojů nižších výkonů, kde nedochází k nadměrnému zahřívání součástí těchto zdrojů. V případě, že dochází k velkému tepelnému ohřevu součástek je nezbytné zajistit tzv. nucené chlazení, které dosahuje vyšších účinností chlazení. [9]

#### 4.2.2. Nucené chlazení

Při nuceném chlazení je proudění vzduchu v přístrojové krabici podpořeno ventilátorem umístěným ve vhodné pozici. Zvýšenou rychlostí proudícího vzduchu dochází ke zvýšení odvodu tepla z prostoru přístrojové krabice, což má za následek snížení tepelného odporu použitého chladiče. Podle konstrukčního řešení rozeznáváme dva základní typy nuceného chlazení:

- a) Čistě nucené chlazení
- b) Smíšené chlazení [9]

##### 4.2.2.1. Čistě nucené chlazení

Pro zajištění stejnoměrného proudění vzduchu kolem chladiče se chladiče umísťují do tzv. chladících kanálků, kterými je vzduch ventilátorem hnán stejnou rychlostí. Jelikož ventilátor zde hraje velkou roli pro správnou funkci chlazení, je nutno ventilátor hlídat. V případě, že by došlo k poškození ventilátoru, je nutné celé zařízení automaticky vypnout, jelikož absence bezvadného ventilátoru by mohla vést k poškození zařízení. U tohoto typu chlazení je nutné zajistit pravidelnou údržbu v podobě odstraňování prachu a usazených částic na lopatkách ventilátoru, popřípadě filtru umístěném před ventilátorem. Případné zanesení ventilátoru a filtru nečistotami vede ke snížení množství nasávaného vzduchu z prostoru, což má za následek snížení účinnosti chlazení a s tím vznikají potenciální komplikace s bezvadným chodem celého zařízení. [9]

##### 4.2.2.2. Smíšené chlazení

Tento typ chlazení nachází uplatnění v aplikacích, kde dochází ke změnám ztrátového výkonu. Chladič v této konstrukci není zcela uzavřen, je tedy umožněno vyzařování tepla do prostoru. V případě, že teplota chladiče překročí určitou nastavenou mez, dojde k zapnutí ventilátoru. Jakmile teplota klesne pod nastavenou mez, ventilátor je opět vypnut. Tento typ chlazení má výhodu oproti předešlému typu, že ventilátor neruší okolí soustavným hlukem, ale až v okamžiku, kdy je nutné jej zapnout. Po ochlazení na určitou mez je opět vypnut. [9]

#### 4.2.3. Chladiče

Některé součástky vyžadují ke své správné činnosti chlazení. Teplo, které vzniká práci součástky je odváděno přímo do okolního prostředí a nebo je předáváno chladiči. Při dosažení určité teploty tělesa (součástky) se odváděný výkon rovná přiváděnému výkonu. Tím dojde ke stavu, že teplota dále nestoupá a nastává tzv. ustálený stav. Na základě odváděného výkonu a rozdílu teplot můžeme určit tepelný odpor, který je dán vztahem:

$$R_{\theta} = \frac{\vartheta_a - \vartheta_m}{P} = \frac{\Delta \vartheta}{P} \quad (31)$$

kde:

$\vartheta_a$  – je teplota okolí

$\vartheta_m$  – je teplota tělesa

$P$  – je odváděný výkon

$R_{\theta}$  – je tepelný odpor [9]

Samotný výpočet je prováděn na základě ztrátového výkonu, který vzniká v konstrukci PN přechodu použité součástky. Vznikající teplo je zapotřebí vhodně odvést přes styčnou plochu do chladiče. Pro správný návrh a popis využíváme značek elektrických obvodů. Ztrátový výkon je zdrojem tepelného

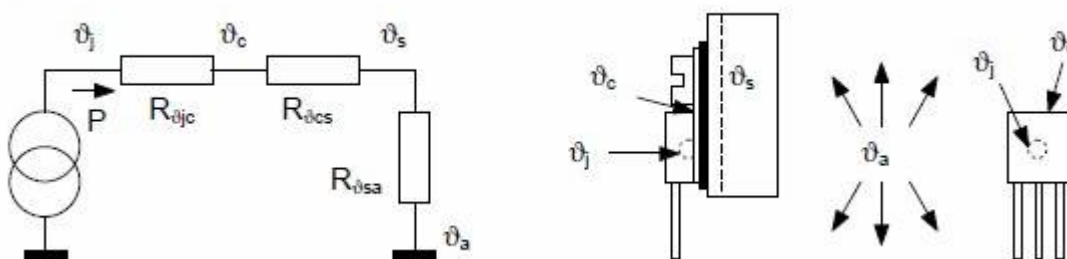
toku, který vyvolává rozdíl teplot na tepelném odporu. Předpokládaná teplota přechodu při zatížení je dána součtem jednotlivých rozdílů teplot a teploty okolí.

V praxi se běžně setkáváme se značkami vycházejícími z anglicky či německy psaných katalogových listů. Seznam a vysvětlení jednotlivých veličin je uveden v následující tabulce: [9]

VELIČINA	NÁZEV
$\vartheta_j$	teplota přechodu
$\vartheta_c$	teplota pouzdra
$\vartheta_s$	teplota chladiče
$\vartheta_a$	teplota okolí
$R_{\vartheta jc}$	vnitřní tepelný odpor
$R_{\vartheta cs}$	tepelný odpor styku s chladičem
$R_{\vartheta sa}$	tepelný odpor chladiče
$R_{\vartheta}$	celkový tepelný odpor
$C_{\vartheta c}$	tepelná kapacita pouzdra
$C_{\vartheta s}$	tepelná kapacita chladiče

Tab. 4.2.3.1 Značení veličin a jejich popis pro výpočet chladičů <sup>31</sup>

#### 4.2.3.1. Výpočet chladiče pro jednu součástku, kdy nejsou uplatněny kapacity



Obr. 4.2.3.1.1 Náhradní schéma tepelného okruhu pro ustálený stav <sup>32</sup>

Výpočet vychází ze schématu výše uvedeného. Dosadíme-li do vzorce pro tepelný odpor známé hodnoty dle schématu, zjistíme hodnotu celkového tepelného odporu, kterou potřebujeme pro další návrh. Výběr jednotlivých součástí se řídí rovnicí:

$$R_{\vartheta} \geq R_{\vartheta jc} + R_{\vartheta cs} + R_{\vartheta sa} \quad (32)$$

V případě, že v katalogových listech nejsou uvedeny všechny potřebné hodnoty, je nutné tyto hodnoty dopočítat. [9]

**Vnitřní tepelný odpor  $R_{\vartheta jc}$**  – výpočet vnitřního tepelného odporu za předpokladu, že není uveden přímo v katalogovém listu součástky je dán vztahem:

$$R_{\vartheta jc} = \frac{(\vartheta_{j \max} - \vartheta_a)}{P} \quad (33)$$

<sup>31</sup> Zdroj: SOUCH.CZ, SOU technické CHOTĚBOŘ, <<http://www.souch.cz/dok/e/chlazení.pdf>>, str.3

<sup>32</sup> Zdroj: SOUCH.CZ, SOU technické CHOTĚBOŘ, <<http://www.souch.cz/dok/e/chlazení.pdf>>, str.3

kde:

$\vartheta_a$  – je teplota okolí

$\vartheta_{jmax}$  – je maximální teplota přechodu

P – je maximální ztrátový výkon při ideálním chlazení [9]

**Tepelný odpor styku s chladičem  $R_{\vartheta cs}$**  – tato hodnota je závislá na velikosti a kvalitativním zpracování styčných ploch. Dále tuto hodnotu ovlivňuje použití různých podložek a teplovodních past. Orientační hodnotu tepelného odporu v závislosti na provedení spoje součástky s chladičem je možné určit z tab. 4.2.3.1.1. [9]

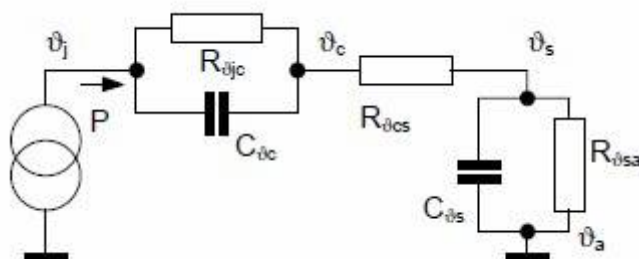
PROVEDENÍ	TEPELNÝ ODPOR [K/W]
přímý styk, bez tepelně vodivé pasty	0,05 ÷ 0,2
přímý styk s tepelně vodivou pastou	0,005 ÷ 0,1
podložka z keramiky Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , s pastou	0,2 ÷ 0,6
silikonová guma, s pastou	0,34 ÷ 0,45
slída 0,05mm, s pastou	0,4 ÷ 0,9

Tab. 4.2.3.1.1 Tepelný odpor v závislosti na provedení spojení součástky s chladičem <sup>33</sup>

**Tepelný odpor chladiče  $R_{\vartheta sa}$**  – při konstrukci zařízení se udává maximální pracovní teplota. Za normálních podmínek v mírném pásmu můžeme tuto hodnotu stanovit na 35 °C. Tuto teplotu můžeme brát v úvahu za předpokladu, že chladič je umístěn na vnějších stranách přístroje. Při použití malých chladičů je vhodnější počítat s teplotou kolem 40 °C, jelikož tyto chladiče se umísťují nejčastěji na desku plošného spoje uvnitř přístrojové krabice. [9]

#### 4.2.3.2. Výpočet chladiče pro jednu součástku s uplatněním kapacity chladiče

Chladiče jsou vyráběny z materiálu vyznačujícího se schopností akumulovat teplo. Tuto vlastnost označujeme jako tepelnou kapacitu chladiče  $C_{\vartheta s}$ . Akumulaci tepla chladičem lze uplatnit u součástek zdrojů, které nejsou vystaveny trvalému zatížení. V praxi to znamená, že při připojení zátěže teplota stoupá, ale než teplota chladiče vystoupí na ustálenou hodnotu, dojde k odpojení zátěže či snížení velikosti výkonu. Díky této skutečnosti je možné volit menší rozměry chladiče a tím šetřit místo v přístrojové krabici i finanční náklady na výrobu. Výpočet je prováděn na základě znalosti metod řešení elektrických obvodů dle schématu uvedeného na obr. 4.2.3.1.2. [9]



Obr. 4.2.3.1.2 Náhradní schéma tepelného okruhu při uvažování tepelných kapacit chladiče <sup>34</sup>

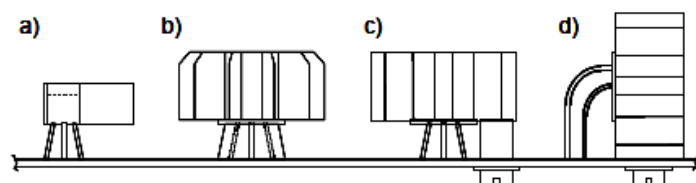
<sup>33</sup> Zdroj: SOUCH.CZ, SOU technické CHOTĚBOŘ, <<http://www.souch.cz/dok/e/chlazení.pdf>>, str.4

<sup>34</sup> Zdroj: SOUCH.CZ, SOU technické CHOTĚBOŘ, <<http://www.souch.cz/dok/e/chlazení.pdf>>, str.5



#### 4.2.3.3. Konstrukční provedení chladičů

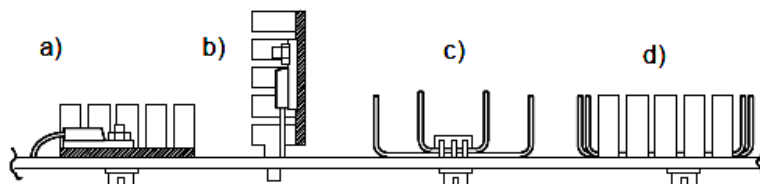
##### Malé chladiče



Obr. 4.2.3.3.1 Malé chladiče<sup>35</sup>

- a) „praporek“
- b) „hvězdička“
- c) hvězdicový hliníkový profil
- d) „hvězdička“ hliníková svisle

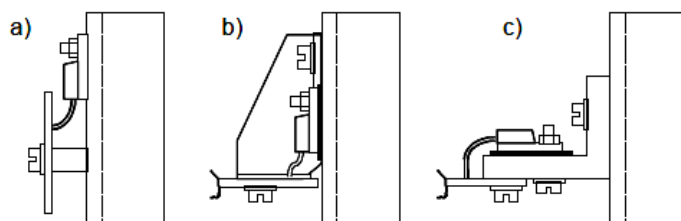
##### Chladiče střední velikosti pro montáž na desku plošného spoje



Obr. 4.2.3.3.2 Střední chladiče pro montáž na desku plošného spoje<sup>36</sup>

- a) chladič tvaru „U“
- b) chladič tvaru „U“ svisle
- c) dvojitý profil „U“
- d) „prstový“ čtvercový chladič

##### Velké chladiče z tažených profilů



Obr. 4.2.3.3.3 Velké chladiče z tažených profilů<sup>37</sup>

- a) deska pro montáž rovnoměrně s chladičem
- b) deska upevněná uhelníky z plechu
- c) hliníkový úhelník pro přenos tepla

<sup>35</sup> Zdroj: SOUCH.CZ, SOU technické CHOTĚBOŘ, <<http://www.souch.cz/dok/e/chlazení.pdf>>, str.6

<sup>36</sup> Zdroj: SOUCH.CZ, SOU technické CHOTĚBOŘ, <<http://www.souch.cz/dok/e/chlazení.pdf>>, str.6

<sup>37</sup> Zdroj: SOUCH.CZ, SOU technické CHOTĚBOŘ, <<http://www.souch.cz/dok/e/chlazení.pdf>>, str.6

## Konstrukce tažených profilů pro chlazení



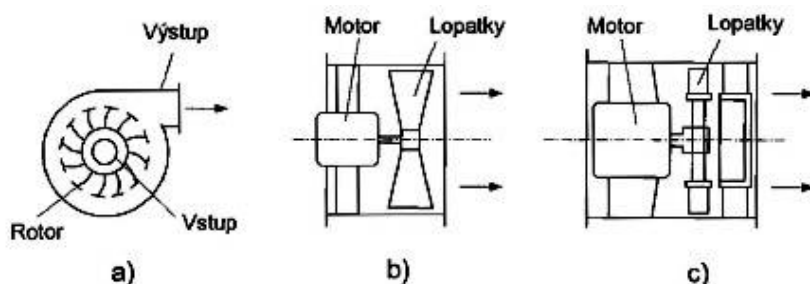
Obr. 4.2.3.3.4 Konstrukce tažených profilů pro chlazení <sup>38</sup>

- a) provedení chladiče pro přirozené chlazení
- b) provedení chladiče pro nucené chlazení [9]

### 4.2.4. Ventilátory

Ventilátory se používají pro nucené chlazení elektrických přístrojů. Nejčastěji se setkáváme s ventilátory typu:

- a) odstředivé ventilátory
- b) šroubové ventilátory
- c) ventilátory s axiálním výstupem [3]



Obr. 4.2.4.1 Nákres nejčastěji používaných ventilátorů: a) odstředivý ventilátor, b) šroubový ventilátor, c) ventilátor s axiálním výstupem <sup>39</sup>

#### 4.2.4.1. Výpočet parametrů ventilátoru

Volba vhodného ventilátoru pro chlazení součástek je dána množstvím chladicího vzduchu vháněného do prostoru, v němž je ochlazovaná součástka umístěna. Výpočet množství vzduchu je dán vztahem:

$$\Delta \vartheta = \vartheta'_1 - \vartheta'_2 = \frac{P_Z}{\rho \cdot c_p \cdot Q_v} \quad (34)$$

kde:

- $\vartheta'_1$  – je teplota vstupujícího vzduchu
- $\vartheta'_2$  – je teplota vystupujícího vzduchu
- $P_Z$  – je ztrátový tepelný výkon
- $c_p$  – je měrné teplo vzduchu při stálém tlaku
- $Q_v$  – je množství prošlého vzduchu

Na základě znalosti množství vzduchu potřebného k ochlazení  $Q_v$  je možno vybrat z katalogu vhodný ventilátor. [3]

<sup>38</sup> Zdroj: SOUCH.CZ, SOU technické CHOTĚBOŘ, <<http://www.souch.cz/dok/e/chlazení.pdf>>, str.6

<sup>39</sup> Zdroj: FUKÁTKO, T., FUKÁTKO J. Teplo a chlazení v elektronice II., str.95

## 5. Návrh zdroje

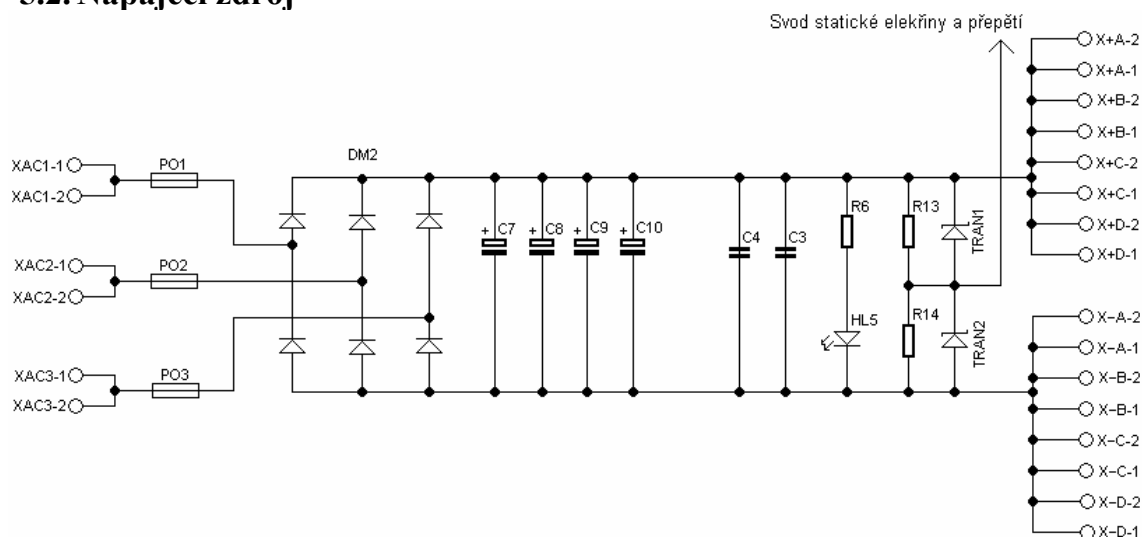
### 5.1. Parametry navrhovaných zdrojů

Předmětem návrhu jsou třífázové stejnosměrné napájecí zdroje s výstupním stejnosměrným napětím 12V a 24V. Výstupní proud byl stanoven na 20A. Napájecí zdroj jako celek je možno rozdělit do tří částí:

1. Napájecí zdroj
2. Silová část
3. Ovládání

Výše vyjmenované funkční části jsou umístěny na jedné desce plošného spoje. Součástí napájecího zdroje a ovládání jsou transformátory, které jsou jako jediné umístěny mimo desku plošného spoje.

### 5.2. Napájecí zdroj



Obr.5.2.1 Schéma zapojení zdrojové části <sup>40</sup>

#### 5.2.1. Transformátory

Pro navrhované zdroje o výstupním napětí 12V a 24V je nutné určit potřebné transformátory. Hodnoty napětí transformátorů byly určeny ze vztahu:

$$U_0 = (1,35 \cdot U_{TR}) - 2 \cdot U_{diod} \quad (35)$$

kde:

$U_{TR}$  – je výstupní napětí transformátoru

$U_{diod}$  – je maximální úbytek napětí na diodách (pro použitý můstek 36MT120 je  $U_{diod} = 1,03V$ )

Potřebný výkon transformátorů je stanoven ze vztahu:

$$S = \frac{U \cdot I}{3} \quad (36)$$

<sup>40</sup> Zdroj: Vlastní

Maximální výstupní napětí naprázdno bylo stanoveno na:

1. 12 V zdroj: 15 V
2. 24 V zdroj: 28 V

Pro 12V zdroj bylo vypočteno z výše uvedeného vztahu použití transformátoru 12 V.

$$U_0 = (1,35 \cdot 12) - 2 \cdot 1,03 = 14,14V$$

Výstupní napětí naprázdno tedy odpovídá požadavkům návrhu.

Potřebný výkon jednoho transformátoru pro 12 V zdroj je stanoven z výše uvedeného vztahu na 80VA.

$$S = \frac{U \cdot I}{3} = \frac{12 \cdot 20}{3} = \frac{240}{3} = 80VA$$

Pro 24V zdroj bylo vypočteno z výše uvedeného vztahu použití transformátoru 21 V.

$$U_0 = (1,35 \cdot 21) - 2 \cdot 1,03 = 26,29V$$

Výstupní napětí naprázdno tedy odpovídá požadavkům návrhu.

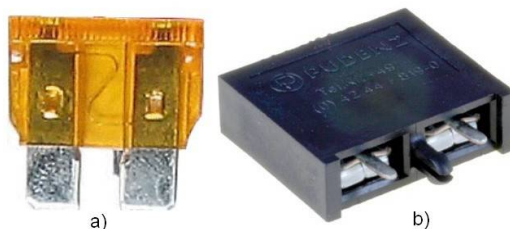
Potřebný výkon jednoho transformátoru pro 24 V zdroj je stanoven z výše uvedeného vztahu na 160VA

$$S = \frac{U \cdot I}{3} = \frac{24 \cdot 20}{3} = \frac{480}{3} = 160VA$$

Použité transformátory jsou toroidní, které jsou instalované mimo desku plošného spoje.

### 5.2.2. Pojistky

Mezi výstupní svorky transformátorů a svorky třífázového můstkového usměrňovače jsou zapojeny ploché automobilové pojistky. Na každou ze tří fází připadá jedna pojistka 20 A/24 V ve žluté barvě. Tyto pojistky jsou instalovány do držáku pojistek, který je pevně připájen do plošného spoje. Použitý držák pojistek C1040 pro pojistky do 20 A a max. napětí 32 V. Toto provedení umožňuje snadnou výměnu pojistek v případě poruchy.



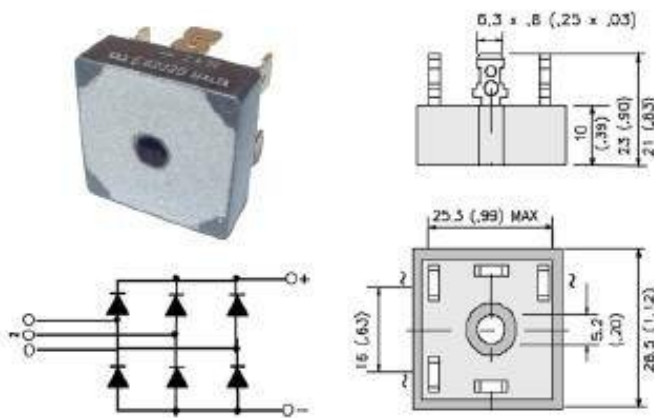
Obr.5.2.2.1 a) nožová automobilová pojistka 20A/24V<sup>41</sup>, b) držák pojistek C1040<sup>42</sup>

<sup>41</sup> Zdroj: <<http://www.ges.cz/cz/f-20-0-a-auto-pl-GES07900318.html>>

<sup>42</sup> Zdroj: <<http://www.ges.cz/cz/c1040-GES07900054.html>>

### 5.2.3. Usměrňovač

V navrhovaném zdroji je použit třífázový usměrňovací můstek 36MT120 - 35 A / 1200 VAC, který nadmíru splňuje požadované parametry pro návrh. Toto provedení usměrňovacího můstku je realizováno s nožovými konektory FAST-ON. Ve schématu zapojení označeno jako DM<sub>2</sub>.



Obr.5.2.3.1 Třífázový můstek 36MT120 – provedení, zapojení, rozměry <sup>43</sup>

### 5.2.4. Filtrace

V obvodu jsou použity elektrolytické radiální kondenzátory. Velikost napětí volíme na základě požadavku  $U_C > U_0$  s dostatečnou rezervou a to s hodnotu napětí 50 V. Pro dosažení požadované kapacity s ohledem na rozměry kondenzátoru volíme kondenzátory zapojené paralelně, kdy výsledná kapacita  $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots C_N$ . Kapacita filtračních kondenzátorů byla stanovena na 4 x 2200  $\mu$ F.

### 5.2.5. Ochrana před účinky statické elektřiny a přepětí

V části před výstupními svorkami napájecího zdroje jsou zařazeny paralelně dva rezistory  $R_{13}$ ,  $R_{14}$  o hodnotě odporu 4700 M $\Omega$  a dva transily TRAN<sub>1</sub>, TRAN<sub>2</sub> typu P6KE33-BIDIRECT, z jejichž středu je veden vodičový spoj na svorku PE v silové části. Toto opatření má vliv na svod statické elektřiny a přepětí v případě jeho vzniku.

### 5.2.6. Vstupní a výstupní svorky

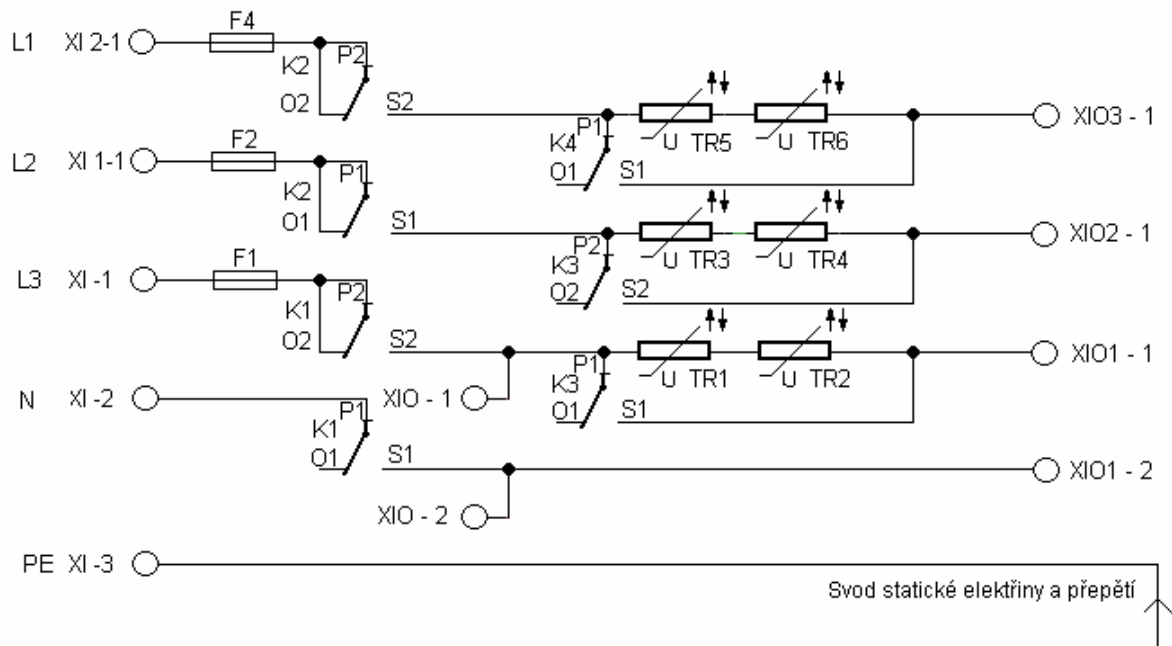
Pro připojení transformátorů jsou na desce plošného spoje připájeny svorky typu WAGO s dvěma kontakty na jednu fázi transformátoru. Výstupní svorky jsou rovněž typu WAGO. Výstupních svorek je v řadě celkem osm, což umožňuje připojení více spotřebičů bez nutnosti dalšího rozdělování. Další výhodou je možnost použití více vodičů menšího průřezu připojených ke zdroji přes více svorek.



Obr.5.2.6.1 WAGO svorka <sup>44</sup>

<sup>43</sup> Zdroj: < <http://www.ges.cz/cz/36mt120-GES04900500.html> >

### 5.3. Silová část



Obr.5.3.1 Schéma zapojení silové části <sup>45</sup>

Stěžejními prvky silové části jsou čtyři relé, které oddělují silovou část od části ovládání. Použité relé jsou od výrobce OMRON, typ G2R-2.



Obr.5.3.2 Relé OMRON G2R-2 <sup>46</sup>

Termistory typu NTC označené ve schématu zapojení jako TR<sub>1</sub> až TR<sub>6</sub> jsou použity z důvodu omezení nárazového proudu při startu zdroje. Zajištění počátečního omezení průtoku proudu způsobuje teplotní závislost odporu součástky.

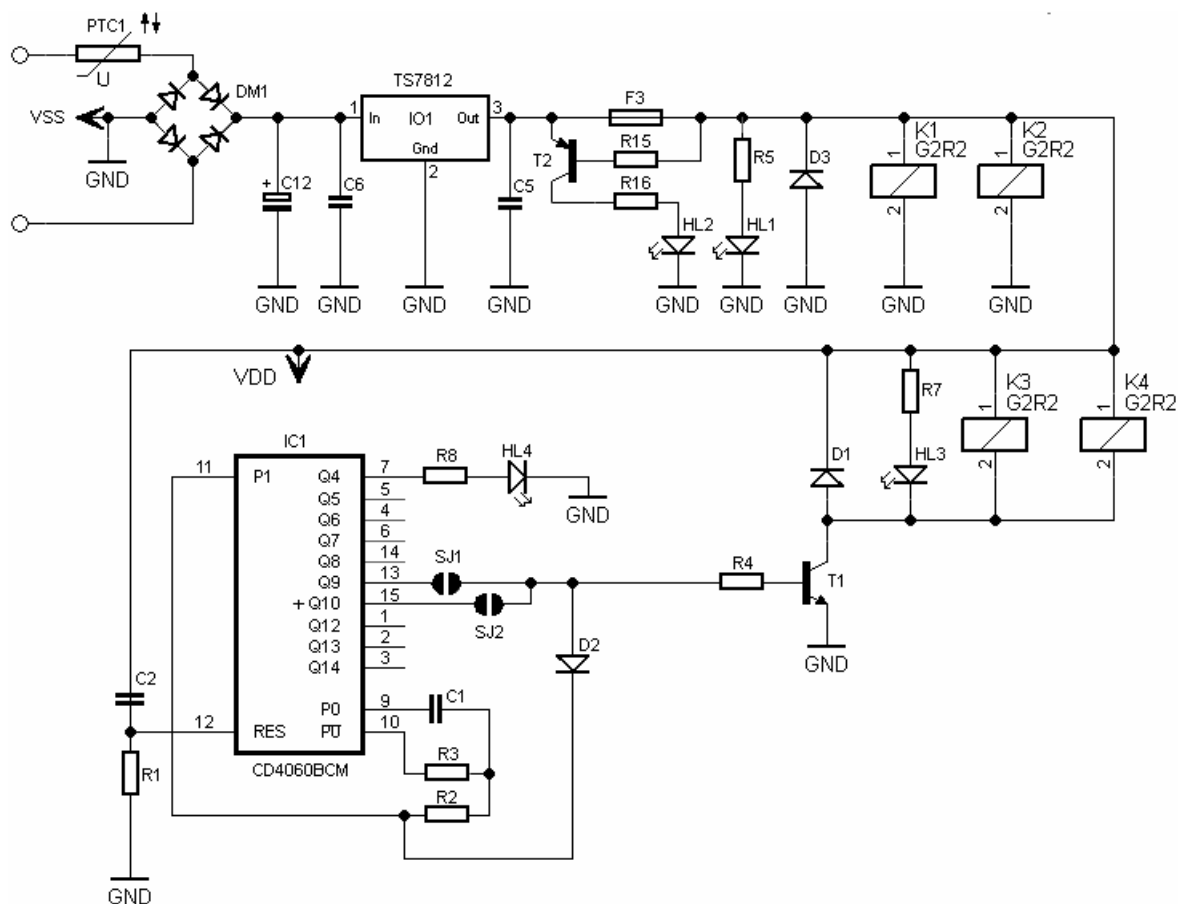
V silové části jsou dále použity tři trubičkové přístrojové pojistky, kdy na každou ze tří fází je připojena jedna pojistka umístěna v držáku pojistek pro snadnou výměnu.

<sup>44</sup> Zdroj: <<http://www.pselelectronic.cz/k5101-007-ark5002.html>>

<sup>45</sup> Zdroj: Vlastní

<sup>46</sup> Zdroj: <<http://eleka.info/?cmd=catalog&raz=306&maxview=60&proizvod=&page=2>>

## 5.4. Ovládání



Obr.5.4.1 Schéma zapojení ovládací části <sup>47</sup>

### 5.4.1. Usměrňovač

V ovládací části je použit můstkový usměrňovač W10M, který usměrňuje střídavé napětí do hodnoty 380 V. Maximální hodnota proudu je 1,5 A. Napětí je přiváděno na vstupní svorky usměrňovače DM<sub>1</sub> z transformátoru 12 V přes svorky typu WAGO, ozn. ve schématu zapojení jako X<sub>1-1</sub> a X<sub>1-2</sub>.

### 5.4.2. Filtrace

Za usměrňovačem je připojen filtrační elektrolytický radiální kondenzátor C<sub>12</sub> s kapacitou 470μF. Velikost napětí volím na základě požadavku  $U_C > U_0$  a to 25 V.

### 5.4.3. Stabilizátor

Z důvodu zajištění konstantního stejnosměrného napětí je zařazen za usměrňovač a filtrační kondenzátor stabilizátor napětí IO<sub>1</sub> typu TS7812. Stabilizátor pracuje s napětím +12 V, max. proud je 1,5 A. Pouzdro stabilizátoru je v provedení TO220. Stabilizátor je dále doplněn na vstupu a výstupu keramickými kondenzátory označenými ve schématu jako C<sub>5</sub> a C<sub>6</sub> s kapacitou 100 nF. Hodnota kapacity byla určena na základě dat uvedených v katalogovém listu tohoto stabilizátoru.

<sup>47</sup> Zdroj: Vlastní

#### 5.4.4. Tepelná ochrana

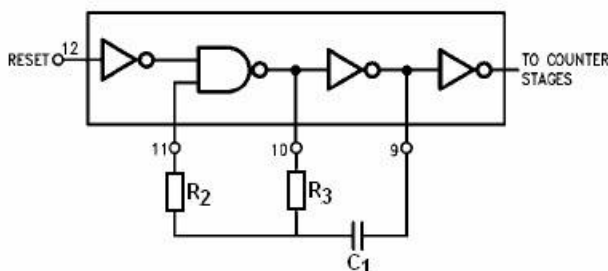
Zdroj je vybaven tepelnou ochranou pro případ, že dojde k nadměrnému nárůstu teploty na usměrňovači, což by mohlo mít za následek zničení tohoto usměrňovače. Stěžejním prvkem je v tomto případě tepelná vratná pojistka rozpínací SM4 090 R, ve schématu zapojení označená F<sub>3</sub>. V případě dosažení teploty 90 °C s tolerancí +/- 5 °C, dle katalogových údajů výrobce dojde k rozpojení a přerušení činnosti zdroje. Tepelná pojistka může pracovat na napětí 250 V s proudem 4 A, což parametrům tohoto zdroje zcela vyhovuje, jelikož pojistka je umístěna v obvodu ovládání, který pracuje s napětím 12 V a proudem max. 1,5 A. V případě, že dojde k přerušení vlivem nadměrné teploty, je tento stav signalizován rozsvícením červené LED diody HL<sub>2</sub>.



Obr.5.4.4.1 Tepelná pojistka SM4 090 R <sup>48</sup>

#### 5.4.5. Obvod časového přemostění termistoru

Stěžejním prvkem časového přemostění termistoru je integrovaný obvod CD4060BCM v provedení SMD. Tento integrovaný obvod je využit jako RC oscilátor. Typické zapojení oscilátoru s obvodem CD4060BCM je znázorněno na obr. 5.4.5.1.



Obr.5.4.5.1 Zapojení RC oscilátoru s obvodem CD4060BCM <sup>49</sup>

Hodnoty rezistorů a kondenzátoru v RC oscilátoru byly stanoveny pro R<sub>2</sub> = 82 kΩ, R<sub>3</sub> = 82 kΩ a C<sub>1</sub> = 100 nF. Tyto součástky jsou rovněž v provedení SMD.

#### 5.4.6. Signalizace provozních a poruchových stavů

Zdroj je vybaven optickou kontrolou pro obsluhu použitím LED diod. Před LED diodami jsou zapojeny předřadné rezistory, jejichž hodnoty byly stanoveny na základě vztahu:

$$R = \frac{U - U_{LED}}{I_{LED}} \quad (37)$$

kde:

U – je napětí zdroje

U<sub>LED</sub> – je úbytek napětí na LED diodě

I<sub>LED</sub> – je proud LED diodou

<sup>48</sup> Zdroj: <<http://www.ges.cz/cz/sm4-090-r-GES07900417.html>>

<sup>49</sup> Zdroj: <<http://datasheet.octopart.com/CD4060BCM-Fairchild-datasheet-12962.pdf>>



**ZAPNUTO 1, ZAPNUTO 2** – pro stav zapnuto 1 a zapnuto 2 jsou použity zelené LED diody L-1034GD s úbytkem napětí  $U_{LED} = 2,2 \text{ V}$  a proudem  $I_{LED} = 10 \text{ mA}$ . Výpočtem byla zjištěna hodnota předřadného rezistoru s odporem  $980 \Omega$ . Volím nejbližší vyšší a to  $1 \text{ k}\Omega$ . Tyto diody jsou označeny ve schématu jako HL<sub>1</sub> a HL<sub>3</sub>. Příslušné rezistory jako R<sub>5</sub> pro diodu HL<sub>1</sub> a R<sub>7</sub> pro diodu HL<sub>3</sub>.

**ZAPNUTO 3** – pro stav zapnuto 3 je jako v předešlém případě použita zelená LED dioda L-1034GD s úbytkem napětí  $U_{LED} = 2,2 \text{ V}$  a proudem  $I_{LED} = 10 \text{ mA}$ . Výpočtem byla zjištěna hodnota předřadného rezistoru  $2180 \Omega$ , jelikož se rezistor s touto hodnotou nevyrábí, volím nejbližší vyšší a to  $2,2 \text{ k}\Omega$ . Tento rezistor je ve schématu zapojení označen jako R<sub>6</sub>.

**PŘEHŘÁTÍ** – v případě, že dojde k přehřátí zdroje, rozsvítí se LED dioda červené barvy L-1034ID s úbytkem napětí  $U_{LED} = 2 \text{ V}$  a proudem  $I_{LED} = 10 \text{ mA}$ . Výpočtem byla zjištěna hodnota předřadného rezistoru R<sub>16</sub> s odporem přesně  $1 \text{ k}\Omega$ . Tato dioda je označena ve schématu jako HL<sub>2</sub> a je připojena přes tranzistor T<sub>2</sub> typu BC807-40SMD v provedení PNP, který pracuje v režimu spínače. V případě, že dojde k přehřátí, tepelná pojistka se rozpojí a přes tranzistor T<sub>2</sub> dojde k rozsvícení diody signalizující přehřátí.

**SOFT-START** – je signalizován LED diodou žluté barvy L-1034YD s úbytkem napětí  $U_{LED} = 2,1 \text{ V}$  a proudem  $I_{LED} = 10 \text{ mA}$ . Hodnota odporu předřadného rezistoru byla stanovena na  $4700 \Omega$ . Tato dioda je ve schématu označena jako HL<sub>4</sub>.



Obr.5.4.6.1 Použité LED diody pro signalizaci provozních stavů <sup>50</sup>

## 5.5. Seznam použitých součástek

### Transformátory

Napětí	Výkon	Typ	Počet
12 V	80 VA	toroidní	3 ks
21 V	160 VA	toroidní	3 ks

Tab.5.5.1 Seznam použitých transformátorů <sup>51</sup>

<sup>50</sup> Zdroj: <<http://www.ges.cz/cz/hledat/?search=L-1034>>

<sup>51</sup> Zdroj: Vlastní

## Napájecí zdroj

Označení ve schématu	Popis	Typ / hodnota	Počet
<b>Kondenzátory</b>			
C3, C4	keramický	100 nF	2 ks
C7, C8, C9, C10	elektrolytický radiální	2200 µF/50 V	4 ks
<b>LED diody</b>			
HL5	zelená	L-1034GD	1 ks
<b>Pojistkové pouzdra</b>			
Držák PO1, PO2, PO3	držák automobilové pojistky	C1040	3 ks
<b>Pojistky elektrické</b>			
PO1, PO2, PO3	automobilová	20 A	3 ks
<b>Rezistory</b>			
R6	metalizovaný 0,6 W, vel.0207	2,2 kΩ	1 ks
R13, R14	metalizovaný 0,6 W, vel.0207	4,7 MΩ	2 ks
<b>Transily</b>			
TRAN1, TRAN2	bidirect	P6KE33	2 ks
<b>Usměrňovače</b>			
DM2	3f usměrňovací můstek	36MT120	1 ks
<b>Vstupní a výstupní svorky</b>			
XAC1-1, XAC1-2... XAC3-1, XAC3-2	dvojnásobná	WAGO	3 ks
X+A-1, X-A-1...X+D-2, X-D-2	dvojnásobná	WAGO	8 ks

Tab.5.5.2 Seznam součástek - napájecí zdroj <sup>52</sup>

## Silová část

Označení ve schématu	Popis	Typ / hodnota	Počet
<b>Objímka relé</b>			
Objímka K1, K2, K3, K4	objímka relé se sponou	FZ95	4 ks
<b>Pojistkové pouzdra</b>			
Držák F1, F2, F4	držák přístrojové pojistky	KS20SW	3 ks
<b>Pojistky</b>			
F1, F2, F4	pojistka přístrojová	3,15 A	3 ks
<b>Relé</b>			
K1, K2, K3, K4	Omron	G2R-2	4 ks
<b>Termistory</b>			
TR1, TR2,... TR6	NTC termistor	SC135R0/5 A	6 ks
<b>Vstupní a výstupní svorky</b>			
XI-1, XI 1-1, XI-2, XI 2-1, XI-3	trojitá	WAGO	3 ks
XIO-1, XIO1-1,...XIO3	dvojnásobná	WAGO	4 ks

Tab.5.5.3 Seznam součástek – silová část <sup>53</sup>

<sup>52</sup> Zdroj: Vlastní

<sup>53</sup> Zdroj: Vlastní

## Ovládání

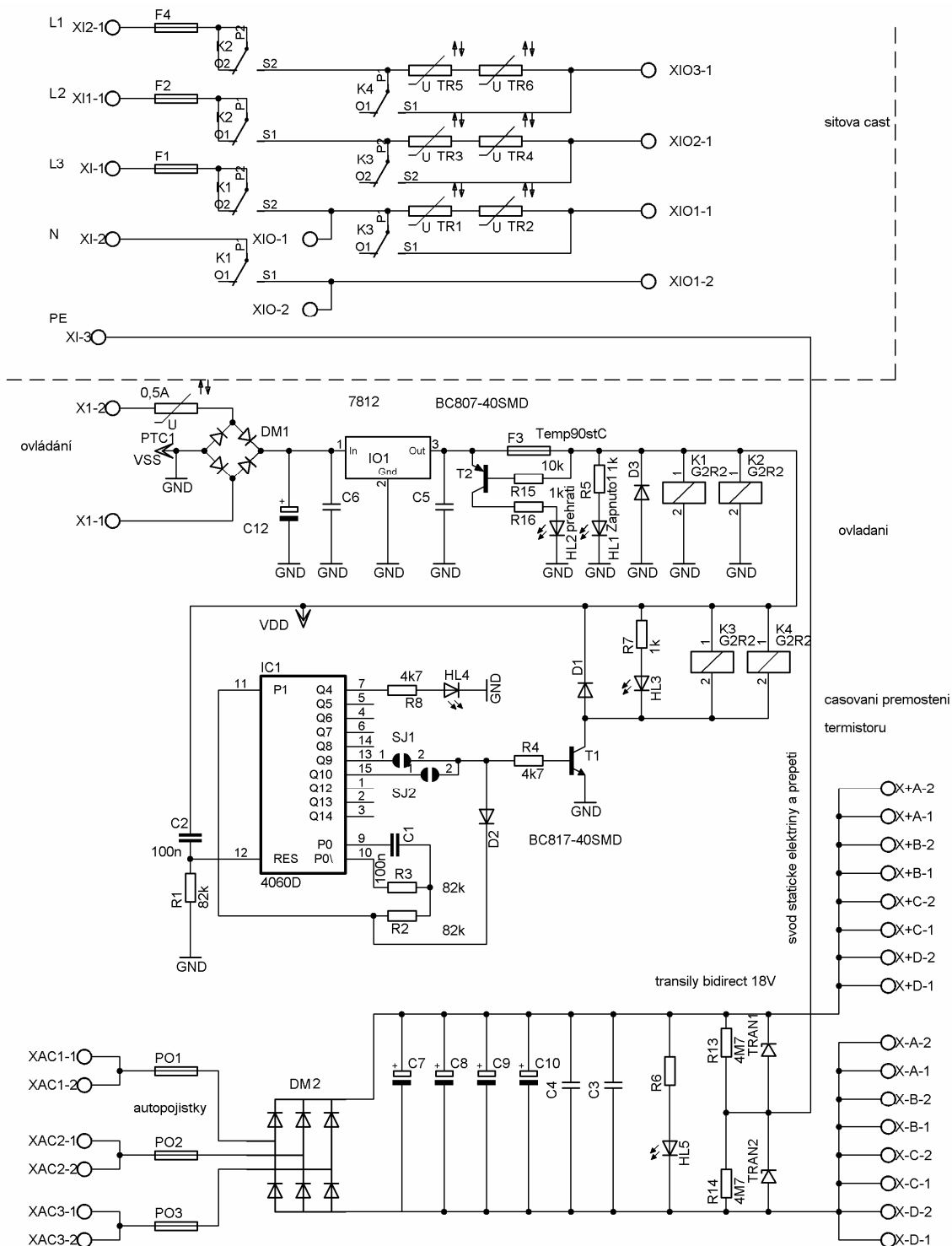
Označení ve schématu	Popis	Typ / hodnota	Počet
Diody			
D1, D2, D3	univerzální dioda	1N4148	3 ks
Kondenzátory			
C1, C2	SMD provedení	100 nF	2 ks
C5, C6	keramický	100 nF	2 ks
C12	elektrolytický radiální	470 µF/ 25 V	1 ks
LED diody			
HL1, HL3	zelená	L-1034GD	2 ks
HL2	červená	L-1034ID	1 ks
HL4	žlutá	L-1034YD	1 ks
Oscilátory			
IC1	SMD provedení	CD4060BCM	1 ks
Pojistky			
PTC1	vratná	0,5 A	1ks
Pojistky tepelné			
F3	vratná, rozpínací 90 °C	SM4 090 R	1 ks
Propojky zkratovací			
SJ1, SJ2	zkratovací propojka SMD		2 ks
Rezistory			
R1, R2, R3	SMD provedení	82 kΩ	3 ks
R4, R8	SMD provedení	4,7 kΩ	2 ks
R5, R7,R16	metalizovaný 0,6 W, vel.0207	1 kΩ	2 ks
R15	SMD provedení	10 kΩ	1 ks
Stabilizátory			
IO1	stabilizátor napětí	TS7812	1 ks
Tranzistory			
T1	SMD provedení	BC817-40SMD	1 ks
T2	SMD provedení	BC807-40SMD	1 ks
Usměrňovače			
DM1	1f můstkový usměrňovač	W10M	1 ks
Vstupní svorky			
X1-1, X1-2	dvojnásobná	WAGO	1 ks

Tab.5.5.4 Seznam součástek – ovládání <sup>54</sup>

<sup>54</sup> Zdroj: Vlastní

## 5.6. Práce v návrhovém programu desek plošných spojů

### 5.6.1. Schéma zapojení

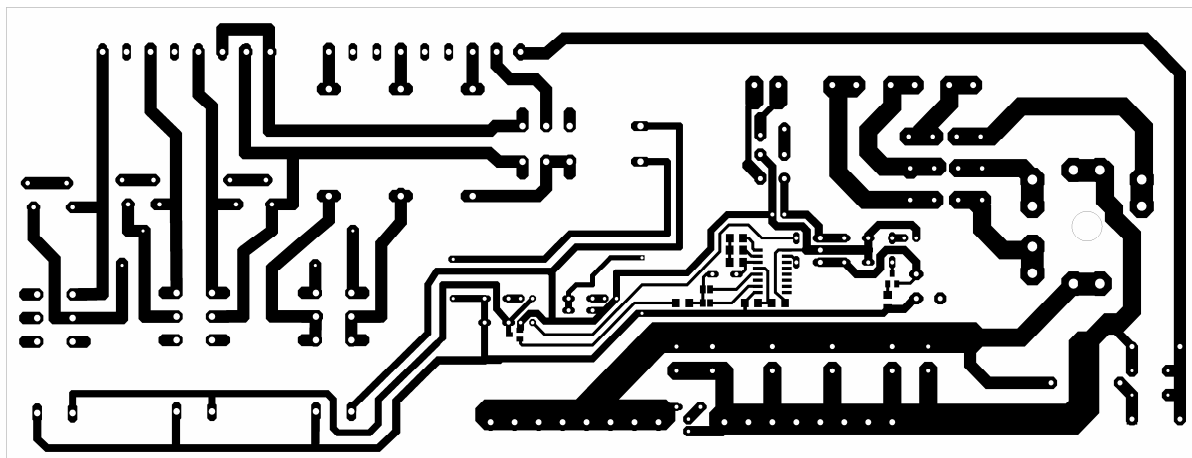


Obr.5.6.1.1 Schéma zapojení – celkové<sup>55</sup>

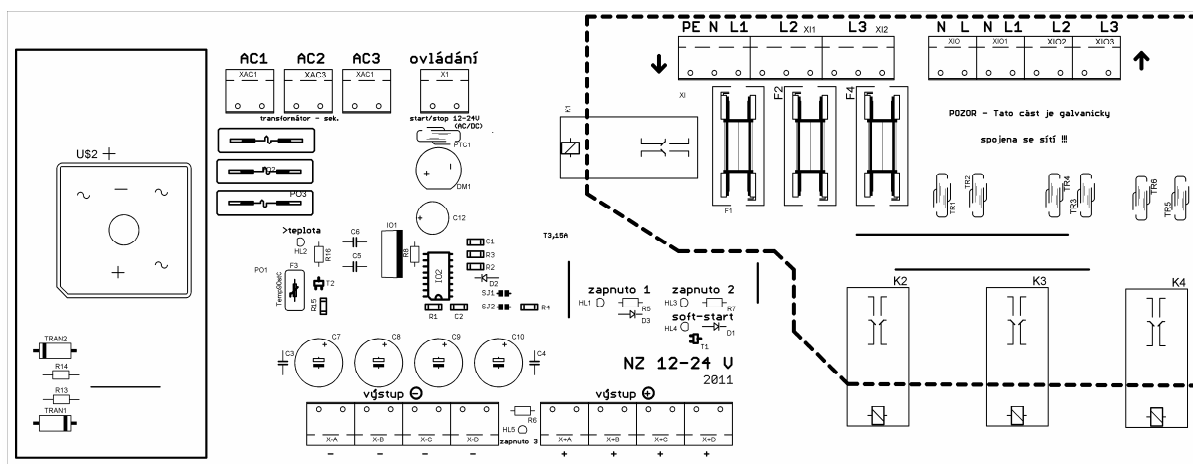
<sup>55</sup> Zdroj: Vlastní

### 5.6.2. Deska plošného spoje

Deska plošného spoje je navržena v návrhovém programu desek plošných spojů. Jedná se o jednostrannou desku plošného spoje s rozměry 254 x 97 mm. Na obr. 5.6.2.1 je zobrazena deska plošného spoje. Na obr. 5.6.2.2 je znázorněno rozmístění součástek. Oba obrázky nejsou v měřítku. V přílohách této bakalářské práce je deska plošného spoje a rozmístění součástek v měřítku 1:1, což odpovídá skutečné velikosti a může sloužit k výrobě plošného spoje.



Obr.5.6.2.1 Deska plošného spoje <sup>56</sup>



Obr.5.6.2.2 Rozmístění součástek <sup>57</sup>

### 5.7. Cenová kalkulace navrhovaného zdroje

Cenová kalkulace pro navrhovaný zdroj je zpracována na základě dostupných ceníků výrobců a prodejců elektronických součástek a komponent ke dni 10. 4. 2011. Ceny jsou uvedeny včetně DPH.

<sup>56</sup> Zdroj: Vlastní

<sup>57</sup> Zdroj: Vlastní

## Transformátory

Napětí	Výkon	Počet	Cena / kus	Cena celkem	Prodejce
12 V	80 VA	3 ks	529 Kč	<b>1587 Kč</b>	www.ges.cz
21 V	160 VA	3 ks	768 Kč	<b>2304 Kč</b>	www.pselectronic.cz

Tab.5.7.1 Cenová kalkulace použitých transformátorů<sup>58</sup>

Všechny transformátory jsou v toroidním provedení.

Transformátor 12 V – 80 VA je běžně k dostání v prodejní síti GES-ELECTRONICS, a.s.

Transformátory 21 V – 160 VA je potřeba vyrobit na zakázku. Cena jednoho kusu byla vypočtena na základě odebrání tří vyrobených transformátorů. V případě odběru většího množství je cena nižší.

## Deska plošného spoje

Cena desky plošného spoje pro navržený napájecí zdroj je **1000 + 200 Kč**. Cenu tvoří zpracování dokumentace pro výrobu, vrtání děr CNC vrtačkou, atd. Druhá část ceny je samotná výroba. Ceny se mohou lišit podle zvolené specializované firmy pro výrobu desek plošných spojů. Při výrobě většího počtu kusů mohou být uplatněny množstevní slevy.

## Napájecí zdroj

Označení ve schématu	Typ / hodnota	Počet	Cena celkem	Prodejce
<b>Kondenzátory</b>				
C3, C4	100 nF	2 ks	4 Kč	www.gme.cz
C7, C8, C9, C10	2200 µF/50 V	4 ks	126 Kč	www.gme.cz
<b>LED diody</b>				
HL5	L-1034GD	1 ks	1,95 Kč	www.ges.cz
<b>Pojistková pouzdra</b>				
Držák PO1, PO2, PO3	C1040	3 ks	116,70 Kč	www.ges.cz
<b>Rezistory</b>				
R6	2,2 kΩ	1 ks	1 Kč	www.gme.cz
R13, R14	4,7 MΩ	2 ks	2 Kč	www.gme.cz
<b>Transily</b>				
TRAN1, TRAN2	P6KE33	2 ks	10 Kč	www.ges.cz
<b>Usměrňovače</b>				
DM2	36MT120	1 ks	349 Kč	www.ges.cz
<b>Vstupní a výstupní svorky</b>				
XAC1-1, XAC1-2... XAC3-1, XAC3-2	WAGO dvoj.	3 ks	22,50 Kč	www.gme.cz
X+A-1, X-A-1...X+D-2, X-D-2	WAGO dvoj.	8 ks	60 Kč	www.gme.cz
<b>Cena celkem – napájecí zdroj</b>			<b>693,15 Kč</b>	

Tab.5.7.2 Cenová kalkulace použitých součástek - napájecí zdroj<sup>59</sup>

<sup>58</sup> Zdroj: Vlastní

<sup>59</sup> Zdroj: Vlastní

## Silová část

Označení ve schématu	Typ / hodnota	Počet	Cena celkem	Prodejce
<b>Objímka relé</b>				
Objímka K1, K2, K3, K4	FZ95	4 ks	148,70 Kč	www.ges.cz
<b>Pojistkové pouzdra</b>				
Držák F1, F2, F4	KS20SW	3 ks	17,10 Kč	www.gme.cz
<b>Pojistky</b>				
F1, F2, F4	3,15 A	3 ks	10,50 Kč	www.gme.cz
<b>Relé</b>				
K1, K2, K3, K4	G2R-2 – 12 V	4 ks	260 Kč	www.conrad.cz
<b>Termistory</b>				
TR1, TR2,...TR6	SC135R0/5 A	6 ks	107,40 Kč	www.ges.cz
<b>Vstupní a výstupní svorky</b>				
XI-1, XI 1-1, XI-2, XI 2-1, XI-3	WAGO troj.	3 ks	16,20 Kč	www.gme.cz
XIO-1, XIO1-1,...XIO3	WAGO dvoj.	4 ks	30 Kč	www.gme.cz
<b>Cena celkem – silová část</b>			<b>589,90 Kč</b>	

Tab.5.7.3 Cenová kalkulace použitých součástek – silová část <sup>60</sup>

## Ovládání

Označení ve schématu	Typ / hodnota	Počet	Cena celkem	Prodejce
<b>Diody</b>				
D1, D2, D3	1N4148	3 ks	3,30 Kč	www.gme.cz
<b>Kondenzátory</b>				
C1, C2	100 nF	2 ks	4 Kč	www.gme.cz
C5, C6	100 nF	2 ks	4 Kč	www.gme.cz
C12	470 µF/ 25 V	1 ks	3,50 Kč	www.gme.cz
<b>LED diody</b>				
HL1, HL3	L-1034GD	2 ks	3,90 Kč	www.ges.cz
HL2	L-1034ID	1 ks	1,95 Kč	www.ges.cz
HL4	L-1034YD	1 ks	1,70 Kč	www.ges.cz
<b>Oscilátory</b>				
IC1	CD4060BCM	1 ks	6 Kč	www.ges.cz
<b>Pojistky</b>				
PTC1	0,5 A	1 ks	16 Kč	www.gme.cz
<b>Pojistky tepelné</b>				
F3	SM4 090 R	1 ks	115 Kč	www.ges.cz
<b>Propojky zkratovací</b>				
SJ1, SJ2	SMD	2 ks	2 Kč	www.gme.cz
<b>Rezistory</b>				
R1, R2, R3	82 kΩ	3 ks	3 Kč	www.gme.cz
R4, R8	4,7 kΩ	2 ks	2 Kč	www.gme.cz

<sup>60</sup> Zdroj: Vlastní

Označení ve schématu	Typ / hodnota	Počet	Cena celkem	Prodejce
R5, R7,R16	1 kΩ	2 ks	2 Kč	www.gme.cz
R15	10 kΩ	1 ks	1 Kč	www.gme.cz
<b>Stabilizátory</b>				
IO1	TS7812	1 ks	15,90 Kč	www.ges.cz
<b>Tranzistory</b>				
T1	BC817-40SMD	1 ks	2,90 Kč	www.ges.cz
T2	BC807-40SMD	1 ks	2,90 Kč	www.ges.cz
<b>Usměrňovače</b>				
DM1	W10M	1 ks	4,80 Kč	www.gme.cz
<b>Vstupní svorky</b>				
X1-1, X1-2	WAGO	1 ks	7,50 Kč	www.gme.cz
<b>Cena celkem – ovládání</b>			<b>203,40 Kč</b>	

Tab.5.7.4 Cenová kalkulace použitých součástek - ovládání <sup>61</sup>

#### **Celkové náklady na výrobu zdroje 12 V / 20 A**

Transformátory: 1587 Kč

Deska plošného spoje: 1200 Kč

Dílčí části:

a) napájecí zdroj: 693,15 Kč

b) silová část: 589,90 Kč

c) ovládání: 203,40 Kč

Cena celkem: **4273,50 Kč**

#### **Celkové náklady na výrobu zdroje 24 V / 20 A**

Transformátory: 2304 Kč

Deska plošného spoje: 1200 Kč

Dílčí části:

a) napájecí zdroj: 693,15 Kč

b) silová část: 589,90 Kč

c) ovládání: 203,40 Kč

Cena celkem: **4990,50 Kč**

---

<sup>61</sup> Zdroj: Vlastní



## 6. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo shrnutí principů činnosti napájecích zdrojů. Napájecí zdroje se dělí na lineární a spínané. Porovnal jsem výhody a nevýhody jednotlivých typů napájecích zdrojů. Popsal jsem jednotlivé stroje, přístroje a součástky ze kterých se skládají napájecí zdroje. V další části bakalářské práce jsem se zaměřil na ochrany napájecích zdrojů. V posledním oddílu teoretické části jsem popsal požadavky na dimenzování a chlazení součástek.

V praktické části bakalářské práce jsem se zaměřil na návrh třífázového stejnosměrného napájecího zdroje 12 a 24 V s proudem 20 A. Návrh byl proveden na základě teoretických informací z odborné literatury, konzultací s vedoucím bakalářské práce, dostupných katalogů a informací nalezených na internetu. Navrhovaný napájecí zdroj se skládá ze tří částí, které jsou jednotlivě popsány v příslušné kapitole. Návrh schématu zapojení, desky plošného spoje a rozmístění součástek bylo provedeno pomocí návrhového programu pro tvorbu desek plošných spojů. V závěru práce jsem provedl ekonomické zhodnocení navrhovaných zdrojů. Součástí bakalářské práce jsou dvě přílohy s návrhem desky plošného spoje a rozmístění součástek v měřítku 1:1.

## Seznam použité literatury

### Publikace

- [1] BEZDĚK, A. *Napájecí zdroje I.* 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 1996. 351 s. ISBN 80-86056-02-3
- [2] BRANDŠTETTER, P. *Elektronika.* 1. vyd. Ostrava: VŠB v Ostravě, 1991. 315 s. ISBN 80-7078-124-6
- [3] FUKÁTKO, T., FUKÁTKO J. *Teplo a chlazení v elektronice II.* 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 120 s. ISBN 80-7300-199-3
- [4] HAMMERBAUER, J. *Elektronické napájecí zdroje a akumulátory.* 2. vyd. Vydavatelství Západočeské univerzity, 1998. 181 s. ISBN 80-7082-411-5
- [5] KREJČÍK, A. *Napájecí zdroje I.* 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 1996. 351 s. ISBN 80-86056-02-3
- [6] LANÍČEK, R. *Elektronika, obvody – součástky - děje.* 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 1998. 479 s. ISBN 80-86056-25-2
- [7] TKOTZ, K.; a kol. *Příručka pro elektrotechniku.* 1. vyd. Praha: Europa-Sobotáles cz. s.r.o., 2005. 564 s. ISBN 80-86706-00-1

### Internetové odkazy

- [8] SOFCON.CZ, Napájení krokových motorů, [online]. 2001 [cit. 2011-03-14]. Dostupný z WWW: <[http://web.sofcon.cz/produkty/techdokum/napajeni\\_krok\\_motoru.pdf](http://web.sofcon.cz/produkty/techdokum/napajeni_krok_motoru.pdf)>
- [9] SOUCH.CZ, SOU technické CHOTĚBOŘ, [online]. 2009 [cit. 2010-12-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.souch.cz/dok/e/chlazení.pdf>>